

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
PRO-REITORIA PARA ASSUNTOS DO INTERIOR
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

ABORDAGEM SOBRE A CONSTRUÇÃO, INSTRUMENTAÇÃO E
OPERAÇÃO DAS PAREDES DIAFRAGMAS DO SISTEMA
DE BARRAGENS GRAMAME / MAMUABA

JOSÉ LAMARCK PEREIRA HENRIQUES

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA
FEVEREIRO DE 1993

JOSÉ LAMARCK PEREIRA HENRIQUES

ABORDAGEM SOBRE A CONSTRUÇÃO, INSTRUMENTAÇÃO E
OPERAÇÃO DAS PAREDES DIAFRAGMAS DO SISTEMA DE
BARRAGENS GRAMAME / MAMUABA

DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO CURSO DE
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA, EM
CUMPRIMENTO AS EXIGÊNCIAS PARA
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GEOTECNIA

ORIENTADORES: PROF. MSc FRANCISCO BARBOSA DE LUCENA
PROF. DR. NORMANDO PERAZZO BARBOSA

DIGITALIZAÇÃO:
SISTEMOTECA - UFCG

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA

FEVEREIRO DE 1993

ABORDAGEM SOBRE A CONSTRUÇÃO, INSTRUMENTAÇÃO E
OPERAÇÃO DAS PAREDES DIAFRAGMAS DO SISTEMA DE
BARRAGENS GRAMAME / MAMUABA

- 627 PEREIRA HENRIQUES, José Lamarck

F 429a Abordagem sobre a construção, instrumentação e operação das paredes diafragmas do sistema de barragens Gramame / Mamuaba. Campina Grande, Universidade Federal da Paraíba. Campus II, 1993.

----- P.

Bibliografia

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Paraíba (Campus II) para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil.

1.0- Introdução; 2.0- Objetivos da pesquisa;
3.0- Revisão bibliográfica; 4.0- Campos experimen-
tal e materiais utilizados; 5.0- Instrumentos, lei-
turas, proteção, instalação e localização;
6.0- Discussão dos resultados; 7.0- Conclusões;
8.0- Sugestões para novos trabalhos;
9.0- Bibliografia.

ABORDAGEM SOBRE A CONSTRUÇÃO, INSTRUMENTAÇÃO E
OPERAÇÃO DAS PAREDES DIAFRAGMAS DO SISTEMA DE
BARRAGENS GRAMAME / MAMUABA

JOSÉ LAMARCK FERREIRA HENRIQUES


DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 05 DE FEVEREIRO DE 1993



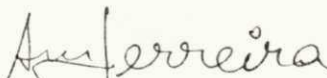
Prof. Dr. NORMANDO PERAZZO BARBOSA
Co-Orientador - Presidente



Prof. M. Sc. FRANCISCO BARBOSA DE LUCENA
Orientador - Examinador Interno



Prof. Dr. HEBER CARLOS FERREIRA
Examinador Interno -



Prof. M. Sc. ADEMILSON MONTES FERREIRA
- Examinador Interno -

CAMPINA GRANDE - PARAIBA

FEVEREIRO DE 1993

TÍTULO: ABORDAGEM SOBRE A CONSTRUÇÃO, INSTRUMENTAÇÃO E
OPERAÇÃO DAS PAREDES DIAFRÁGMAS DO SISTEMA DE
BARRAGENS GRAMAME / MAMUABA.

SINOPSE

Este trabalho apresenta um estudo do comportamento do sistema de barragens de terra Gramame / Mamuaba, construído no município de Alhandra, PB, situado a 20 Km ao sul da capital do Estado da Paraíba, João Pessoa. Ênfase foi dada às pressões da água intersticial na fundação do maciço e as paredes diafrágmicas inseridas no sistema.

O estudo teve como objetivo analisar os dados fornecidos pelos instrumentos instalados na obra, limitados pelo período final de construção, primeiro enchimento do reservatório e dois anos iniciais de operação.

No capítulo de análise das pressões intersticiais procurou-se mostrar a evolução das mesmas através de seções transversais das barragens.

O comportamento do contato núcleo-fundação durante a evolução do enchimento do reservatório foi mostrado através da piezometria traçada em algumas das barragens.

Uma abordagem sobre a construção da parede diafragma, instrumentação utilizada na Engenharia Geotécnica e arranjo geral da obra é apresentada, com a finalidade de fornecer uma visão global do estudo efetuado.

TITLE: APPROACH CONCERNING THE CONSTRUCTION, INSTRUMENTATION AND OPERATION OF THE DIAPHRAGM WALLS OF THE GRAMAME / MAMUABA DAM SYSTEM.

ABSTRACT

This work presents a study on the behaviour of dams constructed in the municipal district of Alhandra, PB, situated twenty kilometers to the south of the capital of Paraíba State, João Pessoa.

Emphasis was given to the porous water pressures in the foundation of the compact and of the diaphragm walls inserted in the system.

The objective of the study was to analyse the data provided by the instruments inserted in the construction, limited by the last phases of the construction, first filling up of the reservoir and two initial years of operation.

In the chapter of the analysis of the pressures water filtration it was shown the evolution of it by means of the transverse sections to the dam.

The behavior of the nucleus foundation contact during the period of the filling of the reservoir was shown by means of drawing in some sections of the dam.

A study of the construction of the diaphragm walls, instruments utilized in the geotechnical engineering and general arrangement of the work is presented, with the view to providing a global view of the study.

SIMBOLOGIA UTILIZADA

C	-	coesão do solo
F.S.	-	fator de segurança
h_w	-	profundidade do lençol d'água
h_l	-	profundidade do nível da lama
K_a	-	coeficiente de empuxo ativo
K_p	-	coeficiente de empuxo passivo
K_o	-	coeficiente de empuxo no repouso
LL	-	limite de liquidez
p	-	sobrecarga uniforme
p'	-	sobrecarga localizada
P_r	-	razão de pré-compressão ou de pré-adensamento
z	-	profundidade
γ_w	-	peso específico da água
γ_l	-	peso específico da lama
γ	-	peso específico do solo
γ_{sat}	-	peso específico do solo saturado
γ'	-	peso específico do solo submerso
$\sigma_{h,a}$	-	tensão normal, horizontal, exercida pela água
$\sigma_{h,l}$	-	tensão normal, horizontal, exercida pela lama
$\sigma_{v,s}$	-	tensão normal, vertical, exercida pelo solo e devida ao seu peso próprio
$\sigma_{h,a,s}$	-	tensão normal, horizontal, ativa, exercida pelo solo e devida ao seu peso próprio

- $\sigma_{hp,s}$ - tensão normal, horizontal, passiva, exercida pelo solo e devida ao seu peso próprio
- $\sigma_{he,s}$ - tensão normal, horizontal, exercida pelo solo no seu estado de repouso
- $\sigma_{ha,sc}$ - tensão normal, horizontal, ativa, exercida pelo solo e devida a sobrecargas
- ϕ - ângulo de atrito interno do solo.

DEDICATÓRIA

Ao meu Pai (In Memoriam) ,
que sempre me incentivou a estudar .

A minha esposa ,
que, com paciência, suportou as
fases difíceis .

A minha mãe ,
que me ajudou com suas orações .

AGRADECIMENTOS

- A DEUS, por ter me dado forças para concluir este trabalho;
- Aos meus orientadores, FRANCISCO LUCENA E NORMANDO PERAZZO, pela boa orientação, incentivo e amizade;
- Ao Dr. JOAQUIM CARNEIRO, por ter me proporcionado a chance de ingressar no curso de mestrado;
- Ao Dr. AMARO LINS, professor da UFPE, pelas orientações na análise dos dados;
- A CAGEPA, por ter permitido o estudo no sistema das barragens e a guarda dos instrumentos de leitura;
- Ao Dr. JOAQUIM ALMEIDA, Eng. da Cagepa, pelo apoio;
- A GENETON e MOACIR, funcionários da Cagepa, por terem auxiliado nas leituras dos piezômetros;
- Ao Dr. ANTONIO SOARES e minha irmã ANA, por terem auxiliado com bibliografias.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1

Introdução

1.1. Introdução.....	1
----------------------	---

CAPÍTULO 2

Objetivos da Pesquisa.....	7
----------------------------	---

CAPÍTULO 3

Revisão Bibliográfica

3.1. Introdução.....	8
3.2. Instrumentação em Barragens de Terra.....	8
3.3. Tipos, Características, Vantagens e Desvantagens dos Instrumentos utilizados em Barragens de Terra..	11
3.3.1. Piezômetros Hidráulicos.....	11
3.3.2. Piezômetro Pneumático.....	12
3.3.3. Piezômetro Elétrico de Corda Vibrante.....	13
3.3.4. Medidores de Recalques.....	13
3.3.5. Medidores de Deformações Horizontais (Inclínômetro).....	15
3.3.6. Medidores de Pressões Totais - Célula Pneumática de Pressões.....	15
3.4. Instrumentação de Campo na Engenharia Geotécnica...	16
3.5. Parede diafragma.....	21
3.6. Aplicações da Parede Diafragma.....	22
3.7. Aplicações da Parede Diafragma pelo Mundo.....	25
3.8. Vantagens e Desvantagens no Uso da Parede Diafragma	26
3.9. Tipos Construtivos de Parede Diafragma.....	27
3.10. Métodos de Dimensionamento da Parede Diafragma.....	28
3.10.1. Estado Ativo.....	28
3.10.1.1. Métodos Clássicos.....	29
a)Cortinas em Balanço.....	29
b)Método do Apoio Fixo no Solo.....	30
3.10.1.2. Método de Hansen.....	32

3.10.2. Estado de Repouso.....	33
3.11. Operações de Execução da Parede Diafragma.....	34
3.11.1. Escavação.....	34
a) Execução da Parede Guia.....	34
b) Escavação dos Painéis.....	35
3.11.2. Concretagem.....	36
a) Preparação da Lama Bentonítica.....	36
b) Colocação das Armaduras e Tubos-Junta....	42
c) Concretagem.....	43

CAPÍTULO 4

Campo Experimental e Materiais Utilizados

4.1. Introdução.....	87
4.2. Localização.....	87
4.3. O Projeto.....	87
4.4. Geologia.....	94
4.5. Descrição das Barragens.....	96
4.5.1. No Geral.....	96
4.5.2. Na Fundação.....	99
4.6. Parede Diafragma Implantada no Sistema Gramame / Mamuaba.....	99
4.7. Escavação dos Painéis.....	100
4.8. Equipamentos Utilizados.....	101
4.9. Durante a Execução dos Serviços.....	101
4.10. Concretagem da Parede Diafragma.....	104
4.11. Normas Empregadas na Caracterização dos Materiais e do Concreto.....	106
4.12. Instrumentação Implantada no Sistema Gramame / Mamuaba.....	113

CAPÍTULO 5

Instrumentos, Leituras, Proteção, Instalação e Localização

5.1. Introdução.....	118
5.2. Objetivos da Instrumentação Instalada.....	118
5.3. Piezômetro Pneumático, Leitura, Instalação, Proteção e Localização.....	118
5.3.1. Descrição e Leitura.....	118
5.3.2. Instalação, Proteção e Localização.....	119
5.4. Piezômetros Casagrande, Leitura, Instalação, Proteção e Localização.....	122

5.4.1. Descrição e Leitura.....	122
5.4.2. Instalação, Proteção e Localização.....	124

CAPÍTULO 6

Discussão dos Resultados

6.1. Introdução.....	148
6.2. Comentários sobre a Instalação dos Piezômetros.....	148
6.3. Período de Leitura e Resultados Obtidos.....	149
6.4. Discussão dos Resultados.....	150

CAPÍTULO 7

Conclusões.....	169
-----------------	-----

CAPÍTULO 8

Sugestões para Novos Trabalhos.....	171
-------------------------------------	-----

CAPÍTULO 9

Bibliografia.....	172
-------------------	-----

ANEXOS.....	178
-------------	-----

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1- Introdução

Nas décadas de 70 e 80, João Pessoa apresentou uma taxa de crescimento populacional muito elevada, superando, em muito, o crescimento do próprio Estado. Segundo dados do IBGE, verificou-se uma redução de pessoas ocupadas no setor primário de 65% do total da população paraibana, em 1970, para 50% em meados de 80, confirmando a saída da população do campo para a periferia das grandes cidades. A explicação desse acentuado crescimento está embasada nas precárias condições oferecidas no meio rural, no desinteresse dos mais jovens com a agricultura de subsistência, no interesse do trabalho remunerado (especializado), e até na procura de uma cidade que ofereça um nível mais elevado para sua formação educacional. Esse fenômeno migratório, levou ao agravamento dos problemas gerados pela incapacidade do Estado em atender a toda comunidade da grande João Pessoa, com serviços sociais básicos. A infra-estrutura sequer atendia à população já residente. A necessidade de serviços adicionais por parte dos setores competentes não acompanharam a demanda gerada a partir do grande crescimento populacional dos últimos anos.

O abastecimento d'água se encontrava deficitário para atender à demanda exigida pelo processo de urbanização verificado na grande João Pessoa, impondo-se como urgente a ampliação do sistema de abastecimento d'água, a partir da construção das BARRAGENS GRAMAME E MAMUABA.

O Sistema Gramame/Mamuaba foi projetado para barrar os rios do mesmo nome e apresenta um volume de acumulação total de água de $56,94 \times 10^6 \text{ m}^3$, garantindo um abastecimento satisfatório para a grande João Pessoa, compreendendo os municípios de João Pessoa, Santa Rita, Bayeux, Cabedelo, Conde e Cruz do Espírito Santo, até o ano 2010.

As barragens estão localizadas no município de Alhandra, distando cerca de 20 Km ao sul da capital, sendo o acesso às mesmas através da rodovia federal pavimentada, BR-101, sentido João Pessoa-Recife, até o quilômetro 104.

A partir desse referencial o percurso se faz através de uma estrada vicinal em terra, de 3 Km de extensão, FIGURA-1.1 .

Integram esse sistema, duas barragens de terra de seção homogênea, geminadas através de um canal de interligação entre as estruturas de barramento, uma estrutura de extravazão de cheias (sangradouro), e duas galerias de tomada d'águas, com válvulas disperdoras, como mostra o desenho do arranjo geral da FIGURA-1.2.

As barragens foram executadas sobre uma camada de solo aluvionar, com permeabilidade horizontal alta, $K_h = 10^{-4}$ cm/s, e abaixo da qual existe uma camada de arenito consolidada. Para se interromper a perda d'água que haveria pela fundação, adotou-se o uso de um septo rígido impermeabilizante, mais conhecido por parede diafragma, FIGURAS-1.3 e 1.4 .

A parede diafragma foi executada em concreto armado, sendo necessária para a sua execução o emprego de uma lama especial, conhecida por lama bentonítica, utilizada simultaneamente com a escavação .

A referida parede foi construída a montante das barragens e em toda sua extensão, com exceção da ombreira esquerda de Mamuaba em que se construíram poços de alívio.

Para se avaliar o comportamento da parede diafragma na fundação, e o nível d'água no interior do maciço, principalmente nas ombreiras de cada barragem, adotou-se o emprego de piezômetros, Pneumáticos e Casagrande.

Foram utilizados 59 piezômetros pneumáticos, instalados na fundação, montante e jusante da parede diafragma de cada barragem e 5 abaixo da laje do sangradouro. Também, foram instalados, 13 piezômetros Casagrande nas ombreiras de ambas as barragens.

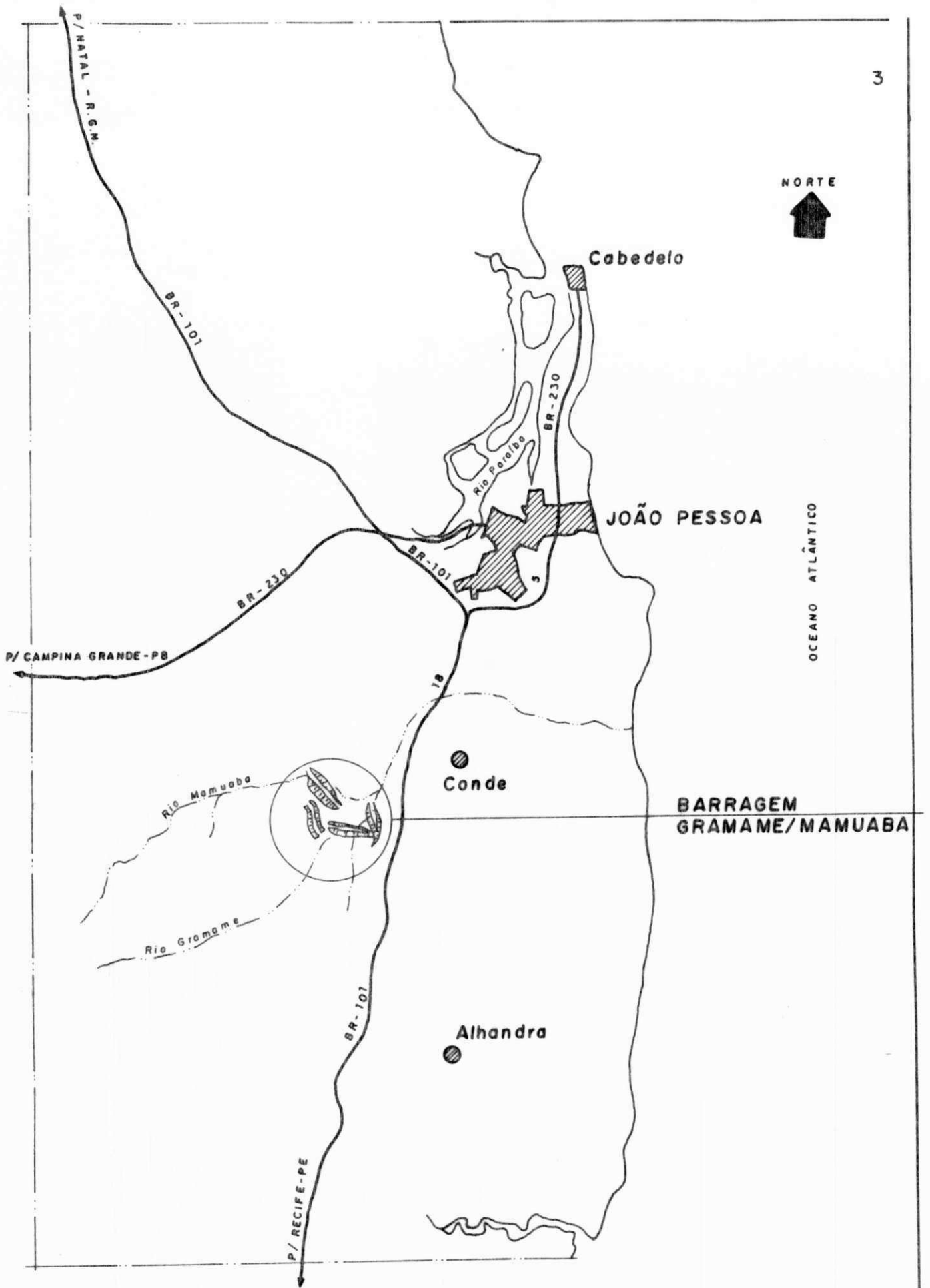


FIGURA 1.1 - LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA GRAMAME/MAMUABA COM RELAÇÃO A JOÃO PESSOA, PARAIBA, PROJETO ORIGINAL (1978).

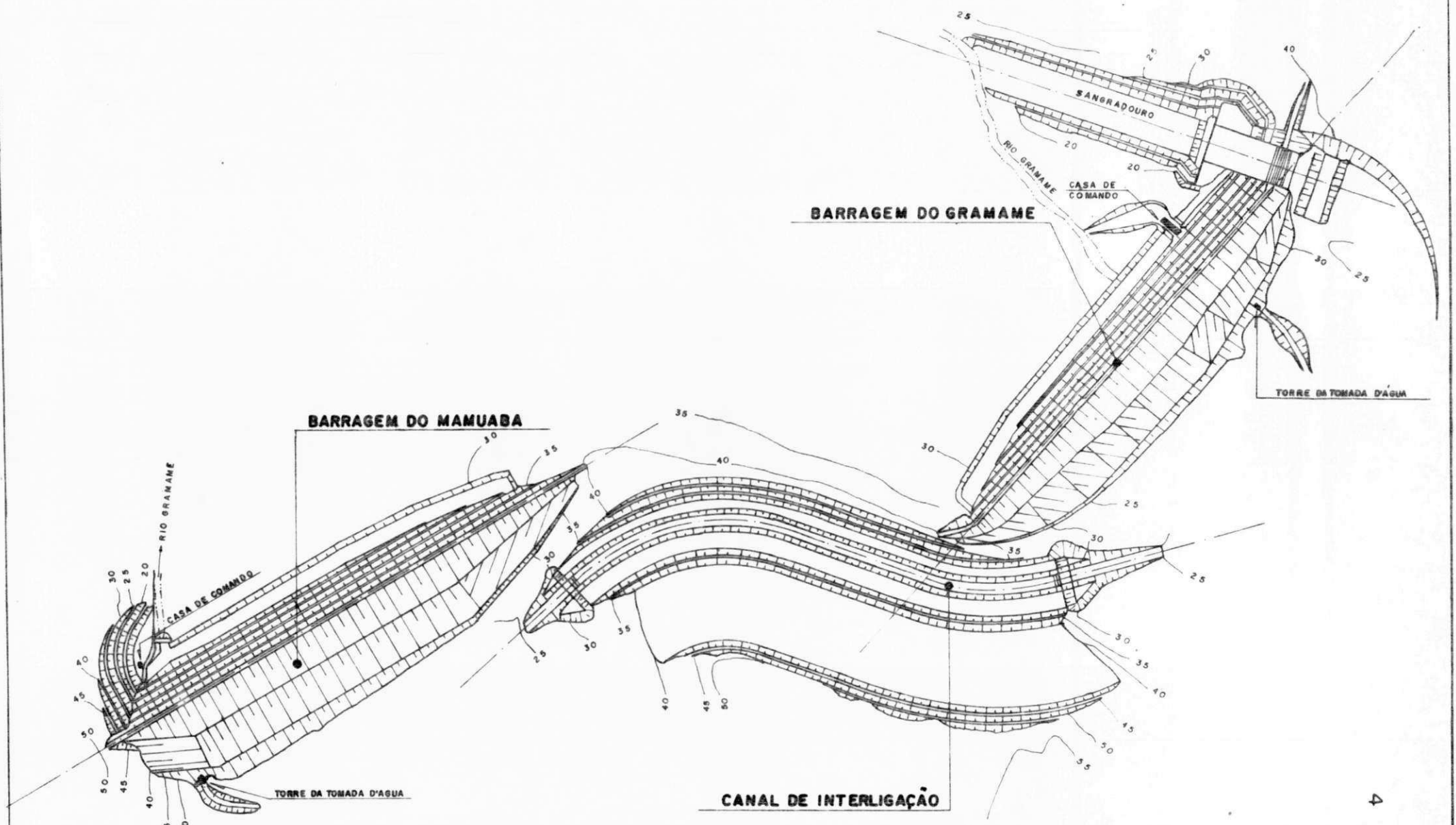


FIGURA 1.2 - ARRANJO GERAL DO SISTEMA GRAMAME / MAMUABA, PARAIBA - PROJETO ORIGINAL (1978)

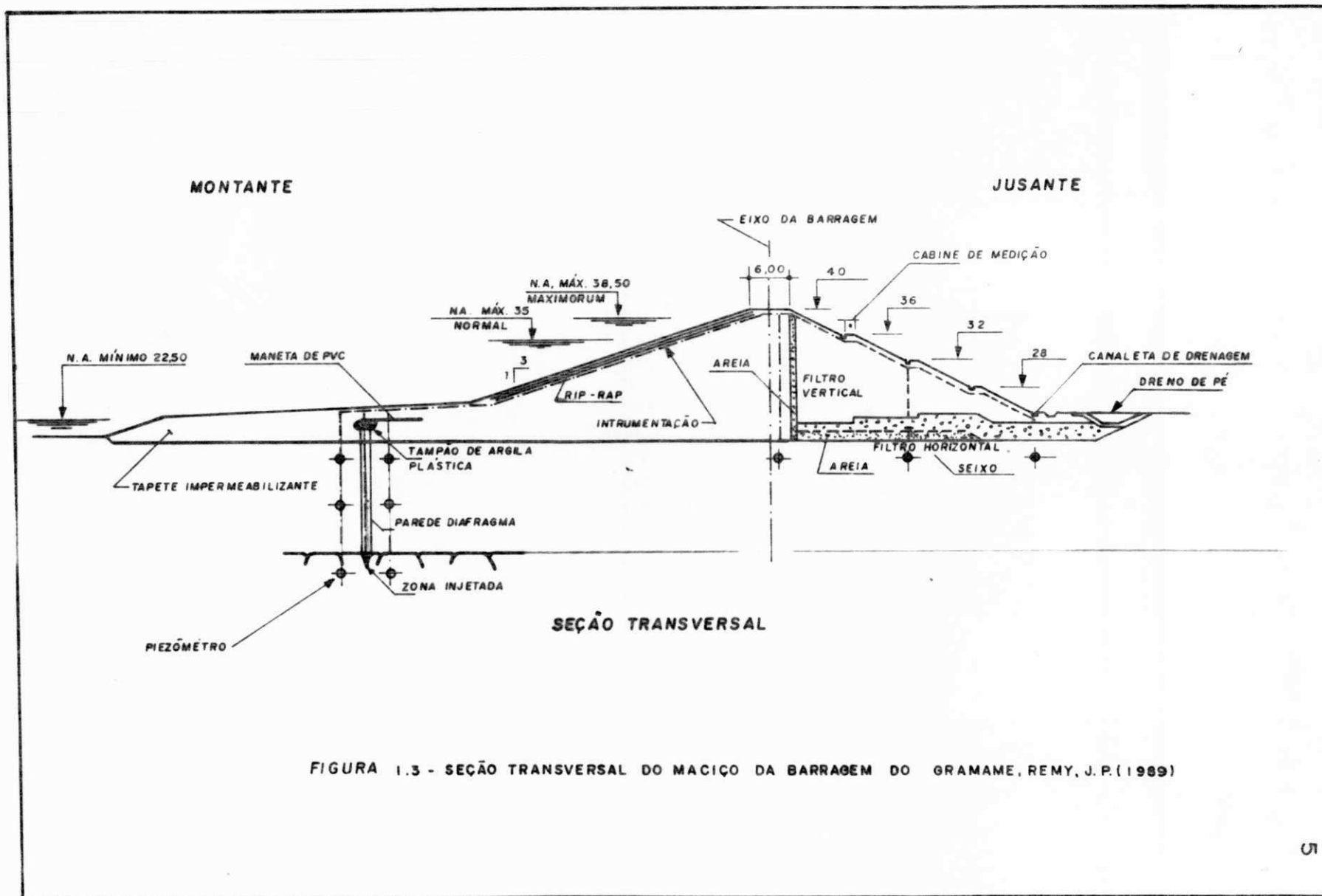


FIGURA 1.3 - SEÇÃO TRANSVERSAL DO MACIÇO DA BARRAGEM DO GRAMAME, REMY, J.P. (1989)

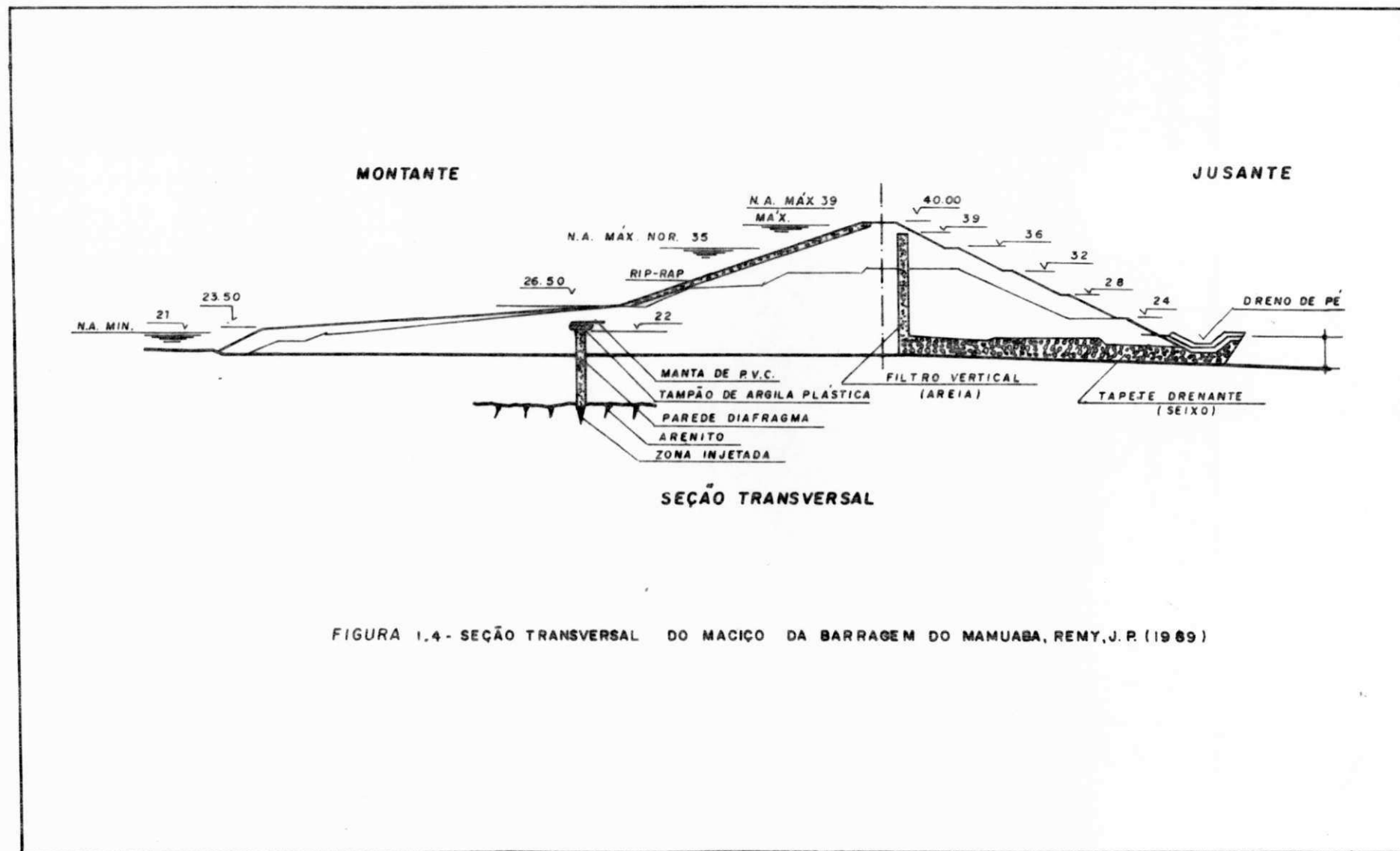


FIGURA 1.4 - SEÇÃO TRANSVERSAL DO MACIÇO DA BARRAGEM DO MAMUABA, REMY, J. P. (1969)

CAPÍTULO 2

OBJETIVOS DA PESQUISA

Este trabalho tem por objetivo fazer uma abordagem sobre construção de parede diafragma e instrumentação utilizada na engenharia geotécnica.

Procura-se também analisar o comportamento da parede diafragma instalada no Sistema Gramame/Mamuaba, localizado no município de Alhandra.

Para se fazer o estudo a cerca da parede diafragma em questão, utilizou-se os dados fornecidos pela instrumentação instalada, do tipo piezômetros pneumáticos, localizados a montante e jusante da parede, e na fundação, em seções previamente definidas; como também os dados dos piezômetros hidráulicos do tipo casagrande, localizados nas ombreiras de ambas as barragens.

CAPÍTULO 3

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1- Introdução

Neste capítulo, tenta-se apresentar os principais instrumentos utilizados em barragens de terra, para avaliar o seu comportamento durante o período de construção e após esta. Procura-se também, mostrar os principais problemas na engenharia geotécnica e a instrumentação adequada para cada tipo.

Complementando, faz-se uma abordagem sobre tipo, utilização e construção de Parede Diafragma.

3.2- Instrumentação em Barragens de Terra

Nas duas últimas décadas, a instrumentação de barragens de terra tem tido larga penetração entre os projetistas e proprietários de obras, conduzindo a benefícios para ambos. As vantagens desse fato se devem aos seguintes aspectos: a) testar o comportamento da obra durante a construção e a validade dos critérios utilizados no projeto; b) observar a segurança da obra durante sua vida útil; c) acumular experiência com repercussões na segurança e economia das barragens a projetar e construir no futuro.

Ressaltam-se as incertezas com que se defrontam os projetistas, devido ao conhecimento precário das características dos materiais e solicitações e a necessidades de dimensionar as estruturas seguras e econômicas. Diante deste quadro aponta-se o conjunto projetar, construir e observar, como sendo o meio de se atingir o progresso do conhecimento e de aproximar a previsão do comportamento real das obras.

São apontados a seguir os principais problemas geotécnicos que afetam as barragens de terra:

a) recalques de fundação e de maciços compactados;

- b) pressões intersticiais em maciços compactados e subpressões nas fundações;
- c) deformações horizontais dos taludes e da crista;
- d) percolação através do corpo da barragem e sistema de drenagem;
- e) efeitos de interação entre a barragem e o vale (fundações, ombreiras), entre os elementos do maciço (núcleo, filtro, zonas de transição, galerias, etc...);
- f) submergência;
- g) sismicidade.

Nesses casos é importante observar as seguintes grandezas:

- a) deslocamentos superficiais: vertical e horizontal;
- b) deslocamentos de pontos situados no interior do maciço: vertical e horizontal;
- c) tensões neutras desenvolvidas no interior do maciço;
- d) níveis hidrostáticos;
- e) tensões totais instalados em elementos, e no interior do maciço;
- f) caudais percolados ao longo do corpo da barragem, encontros e fundações;
- g) respostas do maciço a abalos sísmicos.

Dentre os instrumentos mais utilizados na área da construção de barragens de terra, destacam-se: a) os piezômetros hidráulicos, pneumáticos e elétricos; b) os medidores de recalques, de deformações horizontais e de pressão totais.

Nos Estados Unidos o Bureau of Reclamation tem efetuado medições de pressões neutras, desde 1935. O primeiro sistema usado recorria a uma célula Gold-Beck modificada. Em esquema, mostrado na FIGURA-3.1, vê-se esta célula que é constituída por um pequeno elemento contendo um diafragma metálico. Num dos lados do diafragma atua a água cuja pressão se quer medir, no outro lado, existe um contacto elétrico com o diafragma, que é desligado fazendo atuar, no diafragma, ar sob pressão.

Essa célula exige um acabamento de precisão elevado, apresentando os inconvenientes de possíveis ruturas do diafragma por aplicações de pressões excessivas do ar comprimido.

Este tipo de instrumento tem sido usado em diversas obras e foi desenvolvido simultaneamente na Inglaterra pelo Building Research Station, sendo utilizado intensivamente em barragens.

Uma de suas primeiras aplicações, foi realizada pelo USBR, data de 1939/1940 na barragem de Fresno, Montana.

Em 1939 começaram a ser usados sistemas piezométricos constituídos por uma ponta piezométrica e tubos de ligações até a estação de leitura. Inicialmente os tubos e as pontas eram de cobre e latão, sendo hoje de material plástico (PVC). Apresentam-se na FIGURA-3.2 esquemas das pontas piezométricas, usadas nos aterros e nas fundações antigamente.

No piezômetro de fundação e tubo de extensão, a ponta piezométrica prolonga-se por uma extensão até o nível onde se pretende efetuar a leitura. No tipo Willard, a ponta é colocada no local da leitura. A FIGURA-3.3, mostra esses dois tipos.

Nesses dois tipos acima, os piezômetros são colocados nas fundações e nos aterros, à medida que a construção prossegue ligando-se por meio de tubos a manômetros colocados num poço terminal de leitura. As pressões desenvolvidas são transmitidas, desde as pontas piezométricas até os manômetros, pela água que preenche os tubos de ligação. Os sistemas usados recorrem a dois tubos de ligação, o que permite a circulação de água, antes da leitura, removendo o ar existente no circuito geral.

Os tubos de ligação de todos os piezômetros irão ter a um poço, ou casa de leitura onde se fecha o circuito geral, com interposição de aparelhagem de medida (manômetros).

Outro tipo foi desenvolvido na Alemanha por H. Maihak, compõe-se de uma célula medidora, constituída por um cilindro metálico com diafragma, ligações elétricas e uma ponteira porosa.

Outro tipo, introduzido por Antonio Casagrande em 1949, é constituído simplesmente por um tubo ou ponta porosa e por um tubo plástico de acesso.

Este piezômetro é particularmente aplicável para a medição de níveis d'água e suas variações.

A instalação de piezômetros hidráulicos em barragens brasileiras é relatado, por exemplo, por Areas (1963), Cruz Et Al (1969), CESP (1971), e Gutierrez (1972), respectivamente nas barragens de Três Marias, Xavantes, Promissão e Nhangapi.

3.3- Tipos, Características, Vantagens e Desvantagens dos Instrumentos utilizados em Barragens de Terra

3.3.1- Piezômetros Hidráulicos

Os piezômetros hidráulicos são de dois tipos:

a) Piezômetro de tubo aberto ou Casagrande: Constitui-se de um tubo de PVC, conectado na sua extremidade inferior a uma célula piezométrica ou bulbo poroso, que tanto pode ser cerâmica, como um tubo perfurado envolvido por uma tela de proteção em tecido geotêxtil. A FIGURA-3.4 mostra a célula piezométrica através da qual a água penetra formando uma coluna d'água no interior do tubo, equivalente à pressão intersticial atuante na região onde se situa o bulbo poroso. A pressão é obtida a partir da medida da coluna d'água, a qual é feita com um sensor de nível d'água. A FIGURA-3.5 mostra um tipo de sensor utilizado na medição desses piezômetros.

Suas vantagens: simplicidade na instalação e operação, baixo custo, podem ser montados na obra, boa durabilidade. Suas desvantagens: pequena sensibilidade, tempo de resposta grande, utilização limitada a alturas manométricas menores que seu comprimento, obstrução do filtro devido ao constante fluxo de água nos dois sentidos.

b) Piezômetro de tubo fechado (tipo Bishop): Este instrumento constitui-se basicamente de dois tubos de nylon conectados na sua extremidade inferior a uma pedra porosa de alta pressão, e na sua extremidade superior conectados ao equipamento de leitura. O conjunto piezômetro, tubos de

nylon e equipamento de leitura, formam um sistema de circuito fechado.

O conjunto é instalado em um furo, e o preenchimento é feito com solo compactado e bentonita, FIGURA-3.6. Em seguida é apresentado a célula deste piezômetro, FIGURA-3.7.

A pressão neutra é transmitida ao interior do tubo, sendo registrada no indicador de pressão. O outro tubo se destina a desaerações periódicas do sistema.

Suas vantagens: simplicidade na instalação e operação, boa confiabilidade, baixo custo, tempo de resposta menor que o tipo Casagrande, pode ser utilizado para alturas piezométricas superiores ao comprimento do tubo. Suas desvantagens: cuidado na estanqueidade das tubulações, custo superior ao tipo Casagrande, necessita de desaerações periódicas, o tempo de resposta varia com a permeabilidade (K cm/s) do solo.

3.3.2- Piezômetro Pneumático

Este instrumento consiste de um corpo cilíndrico, célula pneumática, que aloja uma pedra porosa e um sensor pneumático, FIGURA-3.8. A parte sensitiva consiste de uma câmara fechada, de latão cromado ou aço inox, com um diafragma do mesmo material, que cobre dois orifícios, são ligados ao terminal de leitura por dois tubos de nylon, de paredes grossas. A pressão hidráulica circundante conserva o diafragma colado contra os orifícios de entrada e saída do núcleo da célula de pressão.

Para a leitura, injeta-se gás a uma pressão conhecida, a partir da unidade portátil de leitura, mostrado na FIGURA-3.9 para o diafragma, através de um dos tubos de nylon. Quando a pressão do gás injetado for superior a da circundante, na célula, o diafragma se abrirá, permitindo o retorno do gás pelo outro tubo de nylon, para o medidor do fluxo na unidade de leitura. Quando o fluxo se estabilizar, a pressão atuante na célula piezométrica será lida no manômetro.

Suas vantagens: estável, tempo de resposta imediato, posição do dispositivo de leitura independente do

nível do sensor, não tem seu funcionamento prejudicado por congelamento, não necessita de correção devido à distância entre o instrumento e a unidade de leitura. Suas desvantagens: pouca precisão para pressões baixas $< 0,02$ MPa, custo superior aos hidráulicos, utiliza-se nitrogênio, o deslocamento do diafragma deve ser mínimo = $0,002$ cm³.

3.3.3- Piezômetro Elétrico de Corda Vibrante

Consiste de um sensor, tendo na sua extremidade inferior uma pedra porosa e no seu interior um diafragma metálico, ligado a um fio protendido e uma bobina elétrica. A pressão neutra provoca deformações no diafragma que alteram a frequência de vibrações do fio protendido. Essas alterações na frequência provocam perturbações no campo magnético da bobina, que são transmitidas a um medidor de frequência, FIGURA-3.10.

A pressão neutra (p) é dada por: $P = K (f^2 - f_0^2)$ onde P = pressão neutra; K = constante do aparelho; f_0 = é a frequência inicial de vibração do fio protendido; f = é a frequência de vibração do fio quando o diafragma se deforma.

As principais vantagens deste piezômetro são: fácil de ler, pode medir pressões neutras negativas, curto tempo de resposta, posição dos dispositivos de leitura e dos fios independente da posição do sensor, possibilita a utilização de registro automático, os sinais de frequência podem ser transmitidos a grandes distâncias, boa precisão. E suas desvantagens são: não serve para ler pressões que variam constantemente, necessitam de proteção contra descargas elétricas, mais caros do que os hidráulicos e pneumáticos, proteção contra aumento de voltagem, exigem maiores cuidados na calibração, instalação, manutenção e leituras, exigem técnicos qualificados na sua operação.

3.3.4- Medidores de Recalques

são vários os tipos de medidores de recalques. Os mais simples são:

a) **MARCOS SUPERFICIAIS:** Alvos topográficos, através dos quais podem ser medidos deslocamentos horizontais e verticais. Os deslocamentos verticais são medidos através de nivelamentos e os horizontais, através de levantamentos topográficos por processos de triangulação. Entre os marcos de superfície, existem o de montante e o de crista de jusante: o 1º consiste de um bloco de concreto, cravado no talude de montante, tendo em sua extremidade superior uma perfuração rosqueada, a fim de que possa instalar, por ocasião das leituras, uma mira topográfica. Como mostra a FIGURA-3.11, o conjunto é revestido com um tubo, a fim de proteger com o enrocamento. Sua vantagem é a fácil instalação e suas desvantagens são: as necessidades de equipamentos topográficos de alta precisão, os cuidados na instalação e manutenção e a necessidade de um sistema preciso de referência no plano horizontal. O 2º, consiste de blocos de concreto moldados em tubos de diâmetro de 100 mm, estando em seu interior uma haste de aço, ancorada na extremidade inferior e com uma rosca na extremidade superior, a fim de se instalar uma mira topográfica, por ocasião das leituras, FIGURA-3.12. Possui as mesmas limitações e precauções que os marcos de montante.

Os mais precisos, que servem para medidas dos deslocamentos verticais do conjunto fundação, maciços de terra, são os medidores de recalques tipo KM, USBR, os de tubos telescópicos, e o medidor de recalques tipo magnético que se descreverá a seguir.

b) **MEDIDOR DE RECALQUES TIPO MAGNÉTICO:** Consiste de um tubo-guia de PVC com luvas telescópicas devidamente espaçadas, ímã de referência, placas de recalques com ímãs, e aparelhos de leitura, composto de torpedo, trena e um indicador sonoro-luminoso.

A leitura é efetuada, introduzindo-se no tubo-guia de PVC um torpedo contendo um sensor magnético que, ao se aproximar do ímã permanente solidário a placa, fecha um circuito elétrico, acionando assim um indicador sonoro-luminoso.

As medidas são obtidas através de uma graduação em metros ao longo do cabo elétrico do torpedo e de uma trena fixa a um dispositivo encaixado no terminal do medidor, ou através de trena conectada ao torpedo, FIGURA-3.13. Suas vantagens: independe de serviços topográficos quando da execução das leituras, simplicidade de instalação e operação, e determinação do deslocamento vertical ao longo

da profundidade. Sua desvantagem: necessidade de proteção contra descargas elétricas.

3.3.5- Medidores de Deformações Horizontais (Inclinômetro)

Consiste de quatro elementos, FIGURA-3.14. Um tubo instalado num furo de sondagem, possuindo quatro ranhuras, segundo dois eixos ortogonais que servem para a orientação do torpedo munido de quatro rodas, que devem-se movimentar segundo as ranhuras, um cabo graduado, que serve para controle da profundidade e transmissão de sinais elétricos, um dispositivo de leituras que capta os sinais, transmitidos pelo cabo e os traduz em valores numéricos.

A função do inclinômetro é detectar a variação do tubo em relação a uma leitura inicial, obtendo-se a partir daí o deslocamento horizontal em qualquer ponto. Suas vantagens são: a confiabilidade muito boa e a possibilidade de, numa mesma vertical, medir as deformações com a profundidade. E as desvantagens são: a necessidade de pessoal especializado na sua operação.

3.3.6- Medidores de Pressões Totais - Célula Pneumática de Pressões

Consiste de uma almofada de aço inoxidável, totalmente preenchida através de sistema a vácuo, com óleo desaerado, que é acoplado a um transdutor pneumático de pressão.

Utiliza conexões de latão de fácil instalação e tubulações de nylon, FIGURA-3.15. Suas vantagens são: a posição do dispositivo de leitura independente do nível da célula e a não necessidade de correções devido à distância entre a célula e o dispositivo de leitura. E suas desvantagens são: se a célula for muito rígida em relação ao solo circunvizinho, a mesma absorverá tensões, indicando pressões de terra maiores do que as reais naquele ponto. Inversamente, se a célula for menos rígida, indicará pressões menores do que as reais, o solo que envolve as células deve ter as mesmas características de deformabilidade do restante do aterro, requer uma instalação cuidadosa.

3.4- Instrumentação de Campo na Engenharia Geotécnica

Na engenharia geotécnica, existem alguns parâmetros de suma importância para avaliação do comportamento das obras. Por exemplo: os recalques em edifícios, o desenvolvimento de pressões neutras no corpo de uma barragem, o comportamento de estruturas de concreto, tipo parede diafragma no corpo de uma barragem ou como cut off, tensões atuantes em estruturas de contenção, etc. Esses parâmetros podem ser avaliados, na obra, através da aplicação de instrumentos de medição e controle. Essa atividade é definida como instrumentação geotécnica. Sua importância está na adequação do conhecimento do produto final da engenharia, que é o desempenho da obra.

A instrumentação é uma ferramenta muito útil e valiosa, se utilizada de maneira criteriosa e objetiva. Entretanto ressalta-se que ela é apenas uma parte do processo de observação da obra, e que, por isso, isoladamente pode não conduzir a coisa alguma. É necessário, pois, um conhecimento sobre o assunto no que diz respeito a:

- a) definição de necessidades. Para que instrumentar uma obra?;
- b) como obter as informações necessárias;
- c) como interpretar seus resultados.

É importante salientar que toda medida a ser obtida através da instrumentação terá que ser correlacionada com a teoria disponível sobre o assunto. De uma maneira geral, tanto menor o nível de conhecimento teórico sobre um determinado assunto, tanto maior a importância da instrumentação e vice-versa. Por outro lado, quanto maior o grau, de teorização, mais sofisticada a técnica da instrumentação necessária; e quanto mais elementar a teoria, mais direta é a resposta e quase sempre mais importante o valor fornecido pela instrumentação.

O principal objetivo de uma instrumentação geotécnica é fornecer, quantitativa e qualitativamente, parâmetros e grandezas relevantes à resolução de um problema de engenharia. Outros objetivos são:

a) fornecer dados que permitam avaliar a segurança das estruturas, durante e logo após a construção, e o comportamento, a longo prazo de uma barragem, por exemplo;

b) permitir realizar um controle de estabilidade e detectar com antecedência, no caso de rupturas incipientes, ou medir deslocamentos durante a existência da estruturação. Condições especiais, tais como: grande altura, ou tensões excepcionais, recalques excessivos da camada de fundação, possível fissuramento, etc...;

c) acompanhar o desenvolvimento e eficiência de alguma estrutura colocada na barragem, o que é de vital importância para a segurança desta.

O professor Stanley Wilson (1974) enfatiza que para se instrumentar uma obra de engenharia, especialmente uma barragem, deve-se levar em consideração os seguintes aspectos:

CONFIABILIDADE - é o fator mais importante, levando-se em conta que quando se tem um conjunto de dados é necessário que se tenha certeza de que os mesmos estão corretos.

SENSIBILIDADE - Quando se torna possível serem medidos pequenos movimentos e pequenas pressões.

DURABILIDADE - A manutenção dos instrumentos embutidos é praticamente impossível e o interesse é que as leituras se prolonguem por vários anos. Deve-se também analisar as condições a que ficam sujeitos os cabos dos instrumentos, atravessando a materiais diferentes, materiais corrosivos, etc ...

FACILIDADE E RAPIDEZ NA LEITURA - A situação ideal seria aquela na qual houvesse um terminal central de leitura para todos os instrumentos instalados naquela obra. A tendência atual é prover os terminais com registradores automáticos de dados.

OBJETIVIDADE - Os instrumentos devem ser dirigidos para o que se deseja medir. Ou seja, não devem estar sujeitos a efeitos secundários que dificultem a interpretação das leituras.

Segundo Werneck (1978), para instrumentar uma obra de engenharia, é importante levar em consideração outros aspectos, como:

ACURÁCIA, EXATIDÃO OU GRAU DE CORREÇÃO - Os três termos possuem o mesmo significado. Expressam a qualidade de uma

medição de reproduzir mais ou menos fielmente o valor real. A forma usual de exprimir a acurácia de um sistema de medição consiste em se dizer ser ele, acurado (ou correto, ou exato) dentro dos limites compreendidos entre mais ou menos uma certa quantidade ou porcentagem. É bastante frequente confundirem-se os termos precisão e acurácia. Eles têm, porém, significados distintos. É muitas vezes, difícil se avaliar a acurácia de um aparelho ou medição pela impossibilidade prática ou teórica de se conhecer o valor real de uma medição. Usa-se frequentemente, o valor obtido através de um sistema mais exato, como se se tratasse do valor real, supondo-se ser esse valor isento do erro e a partir dele definindo-se a acurácia do sistema menos exato. Várias são as fontes de inexatidão de medições. Entre elas, poder-se-ia citar, imperfeições dos materiais utilizados (irregularidade no diâmetro dos tubos), fenômenos físicos de ação difícil de se evitar (capilaridade, tensão superficial, atrito, etc...), construção deficiente (engrenagem mal usinada, inércia excessiva, etc...), e variação com o tempo nas propriedades dos materiais (corrosão, "creep", envelhecimento de ímãs permanentes, fadiga, etc...).

PRECISÃO - Refere-se à coerência de um conjunto de medições. É um termo que se associa frequentemente a expressões como repetibilidade e reprodutividade, embora estes dois últimos vocábulo seja mais corretamente vinculados à variável tempo. Um aparelho pode ser bastante preciso conduzindo sempre a leituras muito próximas uma das outras e, apesar disto, ser pouco correto se, por exemplo, uma calibração deficiente ou a alteração nas propriedades dos materiais da instrumentação conduzirem a resultados afastados do valor real.

CAPACIDADE E INTERVALO - A capacidade de uma aparelho "span" é a diferença, em termos da variável que se mede, entre os valores superior e inferior que podem ser medidos com o instrumento sem acusar alterações em sua calibração ou funcionamento. Denomina-se de intervalo ou gama de validade das leituras "range" ao intervalo limitado pelos valores extremos.

RESPOSTA - É a menor alteração de uma variável que causa variação perceptível no aparelho. Pode ser expressa em termos de variável que se lê (por exemplo, em milímetros no caso de um manômetro tipo U), mas comumente é dado em termos de variável que se mede (em unidades de pressão). A resposta pode ser parcialmente controlável e parcialmente incontrolável. O tempo de resposta "time lag", por exemplo, pode ser reduzido na leitura de um piezômetro pela redução do comprimento e do diâmetro da tubulação. É um caso evidente de resposta controlável, que pode se melhorada através de uma pequena modificação no sistema de medição. A inércia e o atrito são as causas mais comuns de aumento incontrolável da resposta de um aparelho, embora em alguns

casos a melhoria da lubrificação possa trazer resultados positivos.

Segundo o professor Thomé Jucá os fatores que influenciam o funcionamento adequado dos instrumentos são: a) características físicas dos instrumentos; b) procedimento de instalação; c) influência externa como: temperatura, efeitos de vibração, corrosão, descargas elétricas, etc. . . ; d) adaptação de equipamentos às condições locais da obra; e) processo de leitura e cálculo; f) erros humanos ou pessoais.

No Brasil, onde as obras mais comumente instrumentadas são as barragens, cortes e aterros, a instrumentação para controle de construção tem-se desenvolvido com destaque. Em obras como túneis e estruturas de arrimo, tem-se dado uma grande importância à instrumentação de controle, e também, à verificação de desempenho. Finalmente, à fundação, que é o setor mais desguarnecido, utiliza eventualmente a instrumentação de modelos experimentais, através das provas de carga, sendo raramente utilizada a instrumentação para controle de construção.

A experiência tem mostrado, claramente, que suas aplicações podem ser divididas em quatro categorias principais:

a) INSTRUMENTAÇÃO PARA AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DO SOLO ONDE SE INCLUEM: relação tensão x deformação in situ; propriedades de resistência e permeabilidade; coeficiente de empuxo no repouso, K_0 .

b) INSTRUMENTAÇÃO PARA CONTROLE DE CONSTRUÇÃO APLICADO EM: recalques, deslocamentos horizontais do maciço; vibrações; variações de níveis d'água e pressões neutras; pressões totais e efetivas; acompanhamento das especificações do projeto; segurança da obra.

c) INSTRUMENTAÇÃO PARA VERIFICAR O DESEMPENHO DA OBRA APLICADA EM: análise dos métodos construtivos; análise do projeto; adequação do projeto a condições especiais; obtenção de informações para futuros projetos.

d) INSTRUMENTAÇÃO DE MODELOS EXPERIMENTAIS APLICADOS EM: aterros experimentais; provas de carga em estacas e placa; verificação de novas técnicas construtivas.

A escolha de um sistema de instrumentação a ser utilizado numa determinada obra, diz respeito a uma tarefa cuidadosa e sobretudo não muito fácil. Em geral a opção sobre um determinado sistema e seus componentes é feita com base nos seguintes aspectos: a) custo envolvido; b) acurácia requerida; c) condições locais de operação e equipamentos utilizados; d) pessoal qualificado para instalar e operar a instrumentação, bem como analisar os dados obtidos.

Segundo Dibiagio e Murvoll (1977), estão a seguir, relatados alguns casos em argilas moles, com o objetivo de ilustrar alguns tipos de obras, com seus problemas geotécnicos característicos e o sistema de instrumentação indicados para cada caso.

1.0) ESCAVAÇÕES ESCORADAS

1.1) PROBLEMAS GEOTÉCNICOS: ruptura dos levantamentos de fundo; cargas em estroncas; recalques; movimento horizontal; pressões no escoramento;

1.2) INSTRUMENTAÇÃO INDICADA: medidor magnético de deslocamentos (aranha); medidor superficial de recalques (placas); medidor profundo de recalques (tassômetros); piezômetros; inclinômetros; extensômetros para estroncas; célula de pressão; pinos de recalques (em estruturas vizinhas); células de cargas; referência de nível profundo "Bench March".

2.0) TALUDES

2.1) PROBLEMAS GEOTÉCNICOS: movimento do maciço, ruptura;

2.2) INSTRUMENTAÇÃO INDICADA: medidor superficial de recalques (placas); piezômetros; inclinômetros.

3.0) ATERROS

3.1) PROBLEMAS GEOTÉCNICOS: rupturas; recalques; deslocamentos horizontais;

3.2) INSTRUMENTAÇÃO INDICADA: medidor superficial de recalques (placas); medidor profundo de recalques (tassômetros); piezômetros; inclinômetros.

3.5- Parede Diafragma

A parede moldada in loco também conhecida como parede diafragma ou contínua, é parede de contenção estanque, executada em subsolo, enchendo-se com concreto, simples ou armado, ou argamassa plástica, uma trincheira aberta no terreno e mantida estável com o auxílio de uma lama especial. Um painel de parede diafragma possui espessura variável, de 30 cm e até 1,20 m, largura mínima de 2,00 e até 6,00 m, podendo alcançar e superar profundidades superiores a 50 m, dependendo das condições do terreno e das características construtivas dos equipamentos. O septo está apto a absorver cargas axiais, empuxos horizontais, momentos fletores e pode atravessar camadas consideradas impossíveis para outros sistemas, além de não apresentar ruídos e vibrações, fator importante em construções urbanas.

Por volta de 1938 em Milão, C. Verder e Marconi, idealizaram o processo de execução da parede diafragma, utilizando fluidos estabilizantes, que já eram conhecidos desde 1920, pelos técnicos de perfuração para exploração de petróleo.

No ano de 1950, na Itália, ocorreram as primeiras aplicações deste método, na construção dos cut-off da barragem de Santa Maria e da barragem de Venatro, no rio Volturo. Em ambas, o cut-off foi profundo (mais de 30 m), em terrenos de aluviões (areia e pedregulhos) abaixo do lençol freático.

Devido principalmente à economia, rapidez e segurança com o uso de parede diafragma, um comparação com outros sistemas de contenção e fundação, é que tem havido um grande e constante desenvolvimento dessa técnica, com aplicação e divulgação cada vez maior durante os últimos 30 anos. (Anson S.A., 1980).

Dentre as inovações constantes que tem sofrido a técnica de execução de parede diafragma, destaca-se o emprego de painéis pré-moldados, (FIGURA-3.16), de concreto armado ou protendido. Estes são, utilizados, principalmente quando em presença de camadas de solo muito mole.

A parede diafragma é escavada em painéis ou lamelas, sucessivas ou alternadas, (FIGURAS-3.17 e 3.18), por meio de um clam-shell mecânico ou hidráulico, (FIGURAS-

3.19, 3.19.1 e 3.20), com descida livre (cabo) ou com haste de guia (Kelly), acionado por guindaste. Simultaneamente à escavação é lançado no painel uma dispersão de lama bentonítica com uma concentração (densidade e viscosidade) que dependerá da natureza do solo a ser contido. Após a escavação, é colocada a armadura (gaiola), com mostram as FOTOGRAFIAS-3.1 e 3.2, junto com 1 ou 2 tubos tremonha, por onde é concretado o painel. Também são colocados tubos-junta ou chapa-junta (A FIGURA-3.21 mostra os tipos de juntas de concretagem), para assegurar a continuidade da execução dos painéis os quais são retirados logo após o início do endurecimento do concreto. A FIGURA-3.22, mostra essa sequência de execução da parede diafragma.

3.6- Aplicações da Parede Diafragma

As paredes diafragmas, encontram hoje um vasto campo de atuação, como mostra a sequência da FIGURA-3.23, podendo ser usada com sucesso em vários setores da engenharia de fundação, como por exemplo: a) elementos de contenção de água e terra (diafragma rígido) em escavações provisórias ou permanentes, como: vias subterrâneas de tráfego, estações de passageiros subterrâneas (metrô, trem, etc...); escavações e coberturas de túneis; galerias enterradas ou semi-enterradas; solos de edifícios; casas de bombas, turbinas, reatores; grandes obras industriais para construção de poços, e silos subterrâneos; obras portuárias; barragens, diques e eclusas. Além da função de contenção, as paredes podem ainda ser usadas individualmente ou em ocasiões especiais combinadas em +, X, Y, L, etc., FIGURA-3.24, para resistirem a elevadas cargas verticais. Nesse caso são geralmente denominadas de Estacas Barretes e devem ter comprimento compatível com o tipo do terreno e o valor do carregamento; b) elementos impermeabilizantes (diafragma plástico, constituído por misturas de cimento e argila), usados para o controle da percolação em escavações, diques, barragens, reservatórios, etc.; c) elementos de fundação (estaca diafragma), transmitindo cargas a camadas mais profundas.

A parede diafragma tem sido utilizada nos vários setores da engenharia civil e um levantamento feito em 1977 do total de paredes diafragmas construídas por todo o mundo, aponta um número superior a 10×10^6 m² excluindo paredes de cut-off, estacas barretes e instalações similares, Xanthakos, (1979).



FOTO-3.1 - Mostra o guindaste conduzindo duas gaiolas, executadas na obra, para colocação na vala aberta da parede diafragma, PEREIRA HENRIQUES, J. L. (1988) .

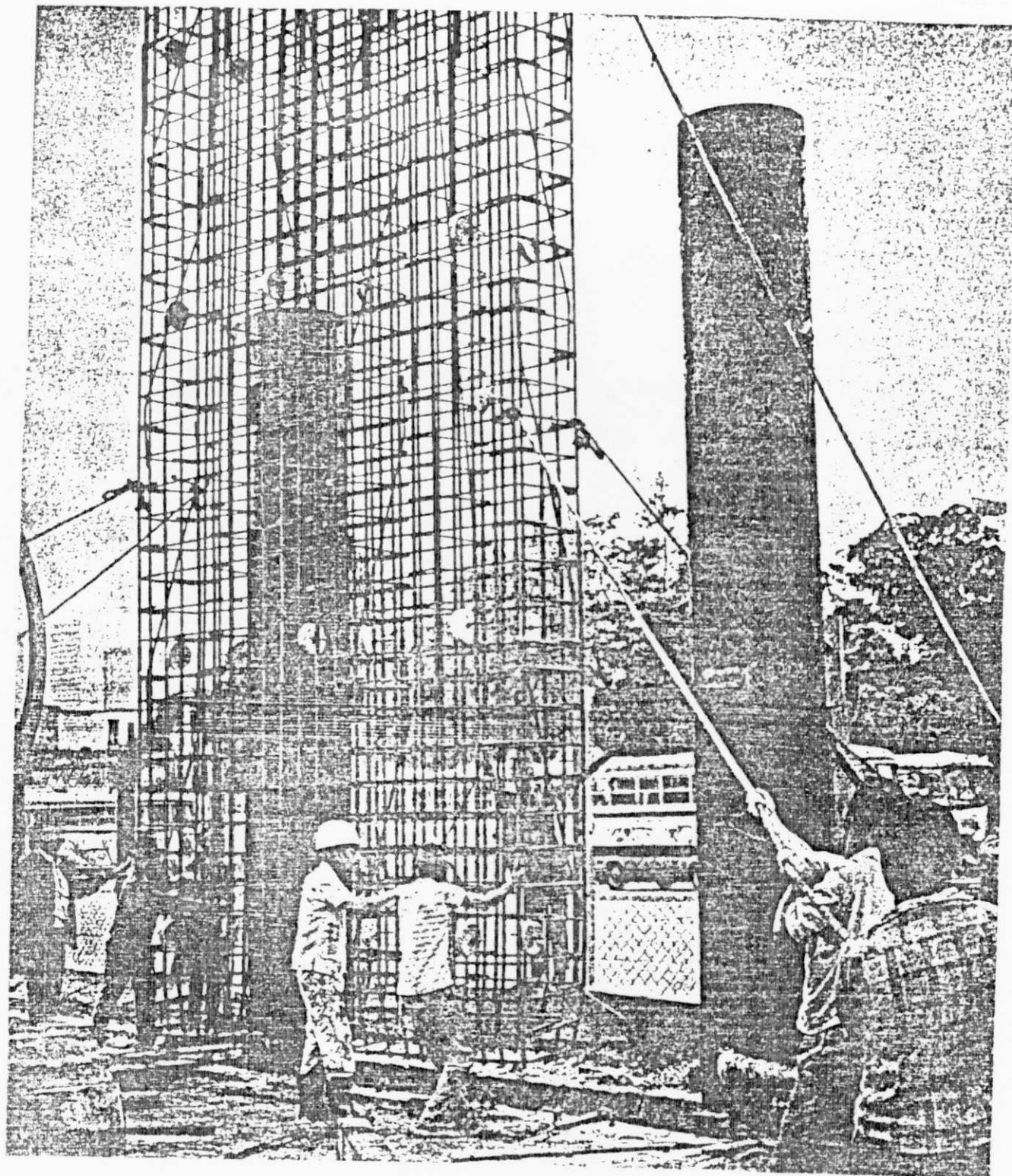


FOTO-3.2 - Descida da armadura de parede diafragma do metro do Rio de Janeiro, METRO(1979)

3.7- Aplicações da Parede Diafragma pelo Mundo

A Europa tem comandado o mercado de parede diafragma, destacando-se a Itália. Um resumo da construção, na Itália, é dado por Sadleir e Dominioni (1963), Baldovin e Berra (1969), e Icos (1968).

Um dos mais significativos e difíceis projetos é o aquífero, proposto para recarregar e levantar Veneza e parar o prejuízo causado por excessiva extração de água subterrânea, resultando no afundamento de fundações. Esse esquema prevê a construção de um perímetro de parede diafragma de 120 m (390ft) profundo, para cercar e isolar esta formação de solo abaixo da cidade, para, em seguida à instalação, recarregar, bombeando água e restaurar a água subterrânea com pressão balanceada abaixo de Veneza, Xanthakos(1979).

Na França, a parede diafragma provavelmente desenvolveu-se a partir de parede de pilares chatos, conduzida por conceitos inovadores como painéis de parede diafragma pré-moldados, desenvolvendo painéis de cut-off, executados sem juntas (articulações).

Na Inglaterra, a técnica foi primeiro introduzida com a construção do viaduto Hyde Park, em Londres. Exemplos recentes são a extensão da linha Piccadilly, no aeroporto de Heathrow, construída por estacas barretes e paredes diafragmas contínuas; a estrutura de ancoragem da ponte suspensa Humber e a embaixada Alemã em Londres, construída com parede diafragma protendida.

Na Bélgica, um dos mais recentes e maiores projetos é o Metrô de Bruxelas, onde a parede diafragma é provida de estruturas permanentes para a linha de trânsito. Durante esta construção foi possível usar painéis de 12 m de comprimento sem problemas.

Na Alemanha e Nova Zelândia, foram utilizadas para construção em cidades as paredes diafragma protendidas. Na Noruega a primeira aplicação foi a construção do metrô de Oslo em argila mole.

Na Espanha, as paredes diafragmas têm sido usada em fundações de edifícios, instalações na área do cais e construção do metrô subterrâneo.

Aplicações no Japão e Extremo Oriente: no Japão, a técnica foi introduzida em 1959. Devido à falta de bentonita, é utilizado um novo material coloidal, reciclado com lamas. A parede diafragma foi utilizada em fundações de edifícios e menos em outros tipos de construção subterrânea. Esta tendência tem sido rapidamente trocada.

Em Hong Kong, a parede diafragma foi usada na construção, da estação subterrânea do metrô e, em Taipei, em fundações profundas de edifícios.

Aplicações no Norte e Sul das Américas: a técnica foi introduzida no Canadá em 1957, e, desde então, ela tem seguido uma marcha de crescimento similar à da Europa. Na América do Sul, paredes diafragmas foram usualmente utilizadas para trabalhos na estação do metrô do Rio de Janeiro e de São Paulo, no Brasil, e em Caracas, na Venezuela.

Nos EUA, construções com paredes diafragmas foram iniciadas, em 1962. As paredes diafragmas foram largamente aplicadas em áreas metropolitanas, mas as maiores aplicações são com o uso de paredes de cut-off para controle da água subterrânea.

Exemplos de construção com parede diafragma em várias regiões são: o Centro Comercial do Mundo em New York, a Water Tower Place em Chicago, Ituxtable Pumpings Stations em Arkansas, o Cobioan Plaza em Porto Rico, seções da estação do metrô em New York, construção do poço para o sistema de escoamento subterrâneo de Chicago, a Sixty State Street Tower em Boston, etc. Xanthakos, (1979).

3.8- Vantagens e Desvantagens no Uso da Parede Diafragma

O grande uso das paredes diafragmas, principalmente no setor da construção pesada e residencial, deve-se sobretudo às vantagens em número muito maior que as desvantagens. As vantagens: - produzir economia de tempo; - proceder simultaneamente à elevação da estrutura e a escavação do subsolo; - poder a parede ser adaptada para solos e condições hidrológicas desfavoráveis, e onde outras técnicas podem ter limitações; - poder a parede ser construída para alturas consideráveis à frente de escavações

principais e funcionar como escora para estruturas adjacentes; - ser a instalação essencialmente feita livre de barulho e vibrações e poder acomodar a necessidade de escavação seca; - ser possível construir-se a parede, ao longo do limite do local e os painéis poderem atualmente ser construídos sob espaço mínimo; - não ser a ponta da parede sensível a lugares difíceis e irregulares; - o movimento de terra pode ser eliminado ou suficientemente controlado.

Entre as desvantagens, pode-se citar: - congestionamento do lugar seriamente impedido para o tráfego; - acesso para ligações de partes do trabalho e outras atividades. Para diminuir essas desvantagens, pode ser necessário: operar somente de um lado, restringir o tamanho do painel, restringir a quantidade de lama e equipamento e operar somente durante certas horas; - o produto concluído é influenciado pelo tipo de solo, e a superfície feita pode ser grosseira, e desta forma requer tratamento adicional; - obstruções causam bolhas e caroços no concreto que deverão ser quebrados; - em formações inclinadas sólidas, existe uma perigosa deflexão na escavação com uma correspondente perda da verticabilidade; - a qualidade e segurança da obra, depende inteiramente do método e da condução dos trabalhos na obra, portanto ela requer inspeção e supervisão no local; - a precisão da escavação para um certo tamanho, depende da habilidade e experiência do operador; - a disposição de lamas usadas em áreas urbanas pode causar problemas especiais.

3.9 - Tipos Construtivos de Parede Diafragma

Três tipos de paredes diafragmas podem ser construídas:

a) PAREDE DIAFRAGMA NÃO INCORPORADA: é a parede que tem por finalidade servir como escoramento e impermeabilidade da obra, sendo que esta não apresenta nenhuma ligação com as estruturas definitivas, FIGURA-3.25.

b) PAREDE DIAFRAGMA INCORPORADA: é a parede que cumpre as duas finalidades, além de escorar a obra durante a escavação, está incorporada às estruturas definitivas, fazendo parte da obra no acabamento final desta, FIGURA-3.26

c) PAREDE DIAFRAGMA SEMI-INCORPORADA: é a parede que tem por finalidade, além de escorar a obra, assegurar algum tipo de estabilização, apresentando algum tipo de ligação com as estruturas definitivas, FIGURA-3.27.

3.10- Métodos de Dimensionamento da Parede Diafragma

Dentre os métodos de dimensionamento das paredes diafragmas apenas o Método dos Elementos Finitos é capaz de analisar todos os aspectos do projeto de uma escavação simultaneamente. Sua utilização requer, entretanto, computadores de grande capacidade de armazenamento e processamento. Sendo que os métodos tradicionais, são os mais utilizados. Estes métodos todos fornecem basicamente os esforços nas paredes e as cargas nos apoios.

A análise dos esforços na parede, normalmente feita a duas dimensões, deve considerar cada estágio de escavação e reaterro, se for o caso, e levar em conta o tipo de execução prevista para a obra. Se está previsto permitir deslocamentos da parede, o estado ativo pode ser considerado.

3.10.1- Estado Ativo

Para este caso dispõe-se dos Métodos Clássicos, do Método de Hansen (1953) e dos Métodos que Consideram o Apoio Oferecido pelo Solo, no trecho da parede, abaixo do fundo da escavação (ficha) como um sistema de molas. Schneebeli (1971), apresenta Métodos Elásticos e Lambe (1970), o Método da Trajetória de Tensões (stress path method). Não é recomendável para o estado ativo a utilização de processos de cálculo semi-empríricos, desenvolvidos para outros tipos de paredes mais flexíveis, como o método de Tschebotarioff (1973), o método de redução de momentos de Rowe (1952), Regras Dinamarquesas, etc. A aplicação dos diagramas envoltórios de Terzaghi e Peck (1967), no cálculo de paredes diafragmas (FIGURA-3.28), embora recomendada por alguns autores, é discutível, uma vez que foram estabelecidos a partir da observação de cortinas de perfis metálicos e pranchões de madeira e estacas pranchas metálicas, Velloso e Lopes, (1976).

Na análise de escoramento de escavações em solos argilosos (solos de drenagem lenta), deve-se levar em consideração o tempo em que este escoramento irá atuar e determinar esforços a curto e longo prazo. Os esforços a longo prazo, calculados em termos de pressões efetivas e com

pressões neutras correspondente às condições hidráulicas mais desfavoráveis para a ocasião, são, geralmente, mais elevados, (FIGURA-3.29).

3.10.1.1- Métodos Clássicos

Podem ser assim designados os métodos de análise de cortinas em balanço e de cortinas de cais com uma linha de apoios (anchored bulkheads), cujo desenvolvimento, no início do século, está ligado aos nomes de Krey e Blum. Os métodos de cálculos de cortinas com uma linha de apoio, conhecidos por Métodos de Apoio Fixo no Solo (fixed earth support method) e Método de Apoio Livre no Solo (free earth support method), podem ser estendidos a cortinas com vários níveis de apoios. Neste caso, o primeiro seria normalmente aplicado aos primeiros estágios de escavação (a ficha é longa) e o segundo aos últimos (a ficha é curta). O cálculo da cortina em balanço é feito para cortinas que não receberão apoio por tirantes, estroncas ou pela estrutura.

3.10.1.1 a) Cortinas em Balanço

No cálculo de uma cortina em balanço admite-se que ela sofra uma rotação sob o efeito do empuxo ativo que atua no seu trecho livre, FIGURA-3.30 a. Essa rotação desperta o empuxo passivo na frente do trecho enterrado e ativo atrás, até o ponto de rotação θ . Nesse ponto, o solo atrás da parede passa do estado ativo para o passivo, enquanto na frente desenvolveu-se estado ativo.

A determinação da profundidade necessária à estabilidade da cortina compreende (FIGURA-3.30):

- traçado dos diagramas de empuxo ativo e passivo dos lados arrimado e escavado, obtendo-se os diagramas de pressões resultantes, ativo-passivo, (FIGURA-3.30 b). No cálculo dos diagramas de empuxo ativo, devem ser considerados o empuxo de terra e o de sobrecargas. No diagrama de empuxo passivo, é recomendado considerar apenas o empuxo de terra quando não há garantia de atuação permanente de sobrecargas. O empuxo da água é geralmente aplicado de um dos lados da cortina apenas e corresponde ao diagrama resultante, (FIGURA-3.35). Como o empuxo passivo é um esforço resistente, deve-se aplicar um fator de segurança a ele, através dos parâmetros

de resistência ao cisalhamento a serem introduzidos no seu cálculo.

$$\bar{\theta} = \text{ARC TG} (\text{TG } \theta / \text{F.S.}) , \quad \bar{C} = (C / \text{F.S.})$$

- determinação do ponto D, que pode ser feita pelo Método Convencional, (FIGURA-3.30.b) por tentativas, até que sejam satisfeitas as equações da estática $\sum H = 0$, $\sum MD = 0$ ou pelo Método Simplificado, (FIGURA-3.30.c), adotando-se o diagrama de empuxo resultante do lado escavado como um triângulo retângulo (B C' E') e o último diagrama de empuxo resultante (CDF) como uma força concentrada. A posição do ponto C é determinado por $\sum Mc' = 0$. A profundidade do ponto C' deve ser acrescida de cerca de 20% para se obter o ponto D.

3.10.1.1 b) Método do Apoio Fixo no Solo

A aplicação deste método é feita quando o comprimento da ficha é bastante para que a parede apresente a deformação da FIGURA-3.31.a. O cálculo simplificado compreende (FIGURA-3.31.b):

- estudo da parte superior da parede, como viga, adotando-se um apoio (rótula) no ponto de momento nulo, assimilado ao ponto de pressão resultante (ativo-passivo), nula. O carregamento da viga é o empuxo resultante;

- calculadas as reações nos apoios, o comprimento da ficha necessário à consideração do apoio fixo (1,2 (a + b)) é verificado ou obtido, pelo estudo da parte inferior da parede, que fornecerá b, através de:

$$\sum Mc = 0 \quad \implies \quad b = \frac{E_r \times c}{A_n}$$

Se não houver empuxo de sobrecargas nem de água, em areias,

$$b = \sqrt{\frac{6 A_n}{\gamma (K_p - K_a)}}$$

3.10.1.1.c) Método de Apoio Livre no Solo

Caso a ficha não atenda ao comprimento mencionado no item anterior, deve-se aplicar o Método de Apoio Livre no Solo. No caso de um comprimento de ficha já estabelecido, a determinação do empuxo passivo mobilizado pode ser feita considerando-se um apoio no ponto de passagem da resultante do empuxo passivo disponível, (FIGURA-3.32.b). Calculadas as reações nos apoios, a reação do apoio no solo deve ser menor ou igual à resultante do empuxo passivo disponível. Caso isto não aconteça, não pode ser considerado apoio no solo mas apenas uma redução no empuxo ativo de valor igual ao passivo disponível (FIGURA-3.33).

Quando ao empuxo a ser considerado, tem-se a analisar os seguintes componentes:

i - EMPUXO DE TERRA. A observação de escavações tem mostrado que o valor total do empuxo de terra se aproxima do calculado pela teoria de Rankine:

$$G_{ha,s} = \gamma_{v,s} K_a - 2c \sqrt{K_a}, \quad K_a = \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\theta}{2} \right)$$

$$G_{hp,s} = \gamma_{v,s} K_p + 2c \sqrt{K_p}, \quad K_p = \operatorname{tg}^2 \left(45 + \frac{\theta}{2} \right)$$

A distribuição não segue, entretanto, esta teoria uma vez que a instalação dos apoios superiores impede o deslocamento da parte superior da parede, provocando uma redistribuição das pressões de terra por arqueamento vertical (FIGURA-3.34). Assim os diagramas segundo Rankine ABE na FIGURA-3.31.b, ACD na FIGURA-3.32.b e ABCD na FIGURA-3.33.b, devem-se ser substituídos por diagramas retangulares de mesma área. Esta redistribuição de tensões não ocorre, entretanto, em argilas de baixa consistência que são solos pouco sujeitos ao efeito de arqueamento.

Nos casos em que é previsto um deslocamento maior da parte superior da cortina, a distribuição da teoria de Rankine pode ser mantida. Isto ocorre, por exemplo, no caso de escavação de um núcleo da obra para instalação de entroncas inclinadas ou construção de parte da estrutura para apoio das paredes, (FIGURAS-3.41.c e 3.41.d).

ii - EMPUXO DA ÁGUA. Na avaliação do empuxo da água, o seu estado de movimento precisa ser considerado. Se a parede penetra uma camada impermeável (ou quando é feita uma injeção impermeabilizante abaixo do fundo da escavação), a

água pode-se encontrar em estado estático e o diagrama de pressões será hidrostático (FIGURA-3.35.a). Essa situação em geral não ocorre e a água se encontra em movimento, em direção à escavação (ou sistema de controle, se for o caso). Esse movimento é frequentemente complexo e de difícil determinação. Essa determinação deve começar com a identificação da condição do fluxo, se não confinado, quando uma das fronteiras de seu domínio é uma superfície livre, ou confinado (FIGURAS-3.35.c, 3.35.b respectivamente). Na obtenção das pressões neutras, pode-se utilizar o traçado de redes fluxo, casos bidimensionais e estacionários, ou o Método de Elemento Finitos. Estudos sobre o assunto, encontram-se em Széchy (1965), Cedergren (1967) e Lopes (1974).

iii - EMPUXO DE SOBRECARGAS. O empuxo devido a obras existentes, e também futuras, caso as paredes sejam incorporadas à estrutura permanente, nas vizinhanças da escavação deve ser considerado, bem como o produzido por veículos e equipamentos que operam nas proximidades da cava (FIGURA-3.36). Sobrecargas uniformes de valor P , cobrindo todo o terreno, produzem, pela teoria de Rankine, um empuxo uniforme sobre a cortina de $\sigma_{ha,sc} = pKa$.

O empuxo de um carregamento em linha foi inicialmente, estudado por Krey (1932), com a construção de Culmann, conduzindo ao critério da FIGURA-3.37.a. Este critério foi estendido ainda a cargas concentradas e áreas carregadas (FIGURAS-3.37.b, 3.37.c e 3.37.d). Terzaghi (1943, 1954) sugere a consideração do empuxo de sobrecargas por fórmulas obtidas da teoria da elasticidade (FIGURA-3.38).

3.10.1.2- Método de Hansen

Brinch Hansen (1953) desenvolveu um método de cálculo de empuxos de terra que difere essencialmente dos demais por ser uma aplicação dos chamados métodos de rutura: o problema é resolvido, partindo-se de uma das possíveis configurações de rutura da estrutura considerada, a qual definirá a movimentação do maciço e, conseqüentemente, a distribuição das pressões. Assim, por exemplo, o cálculo de uma cortina com uma linha de ancoragem pode ser feito de acordo com um dos cinco esquemas mostrados na FIGURA-3.39. No primeiro esquema, a cortina simplesmente gira em torno do ponto de ancoragem; no quinto, ela gira em torno do ponto de ancoragem e há a formação de duas rótulas plásticas, uma na parte desenterrada, outra na parte enterrada. Aproximadamente esses esquemas correspondem ao que chamamos,

nos métodos clássicos de Método do Apoio Livre no Solo e Método do Apoio Fixo no Solo respectivamente. Outra característica importante é que se trata de um método em que o equilíbrio é estabelecido entre forças externas majoradas e resistências internas reduzidas, mediante a aplicação, nos dois casos, de coeficiente de segurança parciais.

3.10.2- Estado de Repouso

Este estado de tensão, existente no maciço antes da escavação, pode ser mantido durante a mesma, se forem impedidos deslocamentos da parede. Neste sentido são tomados cuidados especiais nos trabalhos de escavação e apoio da parede.

O empuxo exercido contra uma parede pelo solo no seu estado de repouso é $\sigma_{h0,s} = K_0 \sigma_{v,s}$, sendo $\sigma_{v,s}$ a tensão vertical devido ao peso do solo acima, e K_0 o coeficiente de empuxo no repouso. A determinação do K_0 pode ser feita em ensaios de laboratório, especialmente em amostras indeformadas ver, p.ex., Bishop (1958), ou Brooker e Ireland (1965), ou em ensaios de campo ver, p. ex., Bjerrum e Andersen (1972); Wroth e Hughes (1973); ou Baguelin Et Al (1974). Mas, devido ao custo desses ensaios, só se justificam em escavações de grandes responsabilidades ou quando se suspeita que o solo seja pré-adensado. Em casos correntes, podem ser utilizadas as expressões de Jaky (1948), para solos normalmente adensados, $K_0 = 1 - \sin \theta'$ ou de Sherif e Koch (1970), para solos pré-adensados, $K_0 = \bar{\alpha} + \alpha(Fr - 1)$, para $1 \leq Fr \leq 12$ sendo

$$\log \bar{\alpha} = 0,00275 (LL - 20) + \log (0,54)$$

$$\log \alpha = 0,00745 (LL - 20) + \log (0,08)$$

O dimensionamento da parede é feito a partir de um cálculo como viga, sem apoio no solo, sendo o carregamento da viga, as pressões horizontais residuais do solo no estado de repouso, somadas às pressões de água e sobrecargas. Alguns autores consideram os diagramas de pressão do solo BCG e A'D'C', (FIGURA-3.40), como atuantes após a escavação, conduzindo ao diagrama de pressões residuais A'EFC' e, conseqüentemente, a um momento fletor negativo, exagerado sobre o último apoio. Na realidade, o diagrama de pressões à esquerda, após a escavação, cresce mais acentuadamente com a profundidade e pode ser considerado como BDC, conduzindo as pressões residuais AEC'.

Deve-se considerar, ainda, que paredes de suporte de uma escavação cuja execução prevê a mobilização de empuxo ativo se impedidas de se deslocar, incorporadas a uma estrutura, p. ex., podem vir a ser solicitadas, com o tempo, por empuxo no repouso. Isso ocorre notadamente em solos argilosos, devido à relaxação de tensões, fenômeno viscoelástico, e também em areias finas, caso ocorram vibrações nas proximidades da obra, Velloso e Lopes (1976).

3.11- Operações de Execução da Parede Diafragma

A execução da parede diafragma basicamente pode ser dividida em duas fases principais, a saber: escavação e concretagem.

3.11.1- Escavação

A fase de escavação compreende:

a) EXECUÇÃO DA PAREDE GUIA. As paredes guias são elementos de arrimo em concreto armado, de pequena altura, da ordem de 1 a 2 m, e espessura entre 0,10 a 0,20 m, que têm por finalidade servir de guia, no início, para a máquina de escavação e também serve de posicionamento dos painéis, da parede diafragma face ao grande peso dos equipamentos de escavação. Serve também como contenção do solo, sujeito a esforços horizontais, nas faces de abertura dos painéis, transmitidos pelos equipamentos de escavação. As paredes guias devem ficar afastadas de uma distância igual à espessura da parede diafragma, acrescida de 5 cm, de tolerância.

Dependendo da maior ou menor condição de estabilidade do solo da camada superior, poderão ser empregados diversos tipos de paredes-guia, cada uma com características próprias. A Parede Guia em Solos Coesivos, como mostra a FIGURA-3.42.a é executada fazendo um corte no terreno sem escoramento, e em seguida, fazendo-se a concretagem das paredes contra o terreno. A Parede Guia para Solos Coesivos em L, apresentado na FIGURA-3.42.b é executada fazendo-se a abertura da vala em taludes, executando-se a concretagem. As paredes-guia neste caso,

poderão ser pré-moldadas, e logo após o endurecimento do concreto faz-se a execução do reaterro com solo-cimento. Também o tipo de Parede-Guia em L Invertida, para solos não coesivos (FIGURA-3.42.c), é executada, fazendo-se a abertura da vala e em seguida a concretagem da parede-guia.

b) ESCAVAÇÃO DOS PAINÉIS. Com a aplicação cada vez maior de parede diafragma em áreas urbanas, é grande a necessidade de se desenvolverem equipamentos de pequeno porte, que possam ser utilizados com melhor desempenho nestas áreas. É por isso, que este tipo de equipamento tem-se desenvolvido bastante nos últimos 20 anos, Metrô - Companhia do Metropolitano do Rio de Janeiro, (1979) .

Os principais sistemas utilizados na escavação de parede diafragma, são os seguintes: sistemas convencionais de escavação com clam-shell, sistemas de escavação por percussão, sistema de escavação por circulação inversa, e sistemas de escavação por rotação.

No sistema de escavação com clam-shell, os primeiros utilizados na escavação de parede-diafragma eram equipamentos puramente mecânicos, manobrados por um guincho com dois tambores, um para suspensão e outro para o fechamento da caçamba. Atualmente, além dos clam-shells mecânicos (FIGURA-3.19) existem muitos tipos de clam-shell com comando hidráulico (FIGURA-3.20) e misto hidráulico-elétrico. Esses, motivados pela necessidade e conveniência mecânica, são adaptados a hastes rígidas; são robustos, pois devem resistir bem aos choques, dependendo do tipo de solo e da escarificação. Sua caçamba pode ter borda de ataque retangular (FIGURA-3.19) ou semi circular (FIGURA-3.19.1), pode possuir dentes para facilitar a escarificação, ou pode ser lisa, tendo pequenos orifícios por onde permite o escoamento da lama.

A indústria I.C.O.S. desenvolveu em 1950, nos Estados Unidos um dos primeiros equipamentos de escavação para parede diafragma, que se caracterizava pela execução de furos circulares nos extremos da lamela a ser executada, concretando-os. Depois escavava o solo entre as estacas, e concretava para formar o painel (FIGURA-3.43) .

Já a empresa E.L.S.E. em 1958 desenvolveu um equipamento que consistia, basicamente, num mastro que se introduz na cava à medida que a escavação progride. Esta se processa pela extremidade, através de uma caçamba que se desloca na haste e executa o movimento de rotação (FIGURA-3.44) .

O sistema de escavação por percussão, é normalmente utilizado em regiões de solos duros, residuais, ou matações, onde outro tipo de equipamento não apresenta eficiência.

No sistema de escavação por circulação inversa, o primeiro equipamento construído tinha como princípio básico o de aspirar o material desagregado misturado com lama, através de tubulações, à medida que o solo ia sendo escavado.

No sistema de escavação por rotação, os equipamentos possuem brocas que, através de movimento vertical e rotação horizontal, vão desagregando o solo, permitindo sua retirada através de tubulações acopladas a bombas de dragagem, pois são equipadas com circulação inversa.

O processo B.W. Japonês, apresenta o mais alto grau em tecnologia de escavação para paredes diafragmas. Nele, a suspensão de lama bentonítica executa duas funções: a de suporte da cava, e a de elemento condutor do material escavado para a superfície. A TABELA Nº 1, apresenta as principais características dos equipamentos para escavação em paredes diafragmas.

3.11.2- Concretagem

A fase de concretagem compreende as seguintes etapas:

a) **PREPARAÇÃO DA LAMA BENTONÍTICA.** Trata-se de uma suspensão, em água, de especial. Esta suspensão possui duas qualidades básicas, quais sejam: i) permitir nas faces da escavação, a colmatação dos vazios do solo, formando uma película praticamente impermeável; ii) adquirir uma certa rigidez, quando a suspensão se apresenta em repouso, ou seja, poder tixotrópico.

A formação dessa película é possível, desde que a pressão da suspensão bentonítica seja maior que aquela proveniente da água subterrânea. Com isso a estabilidade

SISTEMAS	I. C. O. S.	E. L. S. E.	CONVENCIONAIS C/"CLAMSHELL"	SOLE TANCHE (CIRC. INVERSA)	B. W.
PRINCIPAIS CARACTERISTICAS					
METODO DE ESCAVAÇÃO DA VALA	SÃO EXECUTADAS ESTACAS CIRCULARES ESPAÇADAS E O SOLO ENTRE AS MESMAS É RETIRADO C/O USO DE EQUIP. ESPECIAL "CLAMSHELL" HIDRÁUL. TAMBÉM SÃO UTILIZADOS	A ESCAVAÇÃO É CONDUZIDA ATRAVÉS DE UMA GUIA LATERAL	A ESCAVAÇÃO É DIRIGIDA ATRAVÉS DE BURACOS CIRCULARES POR APLAINAMENTO OU PERFURAÇÃO	A ESCAVAÇÃO É FEITA ATRAVÉS DE BURACOS CIRCULARES, POR APLAINAMENTO OU PERFURAÇÃO	A ESCAVAÇÃO É DIRIGIDA ATRAVÉS DE UMA GUIA IGUAL À SEÇÃO A SER ESCAVADA
EQUIPAMENTO DE ESCAVAÇÃO	UMA BROCA PARA OS FUROS CIRCULARES E "CLAMSHELL"	CAÇAMBA MUNIDA DE DENTES	CAÇAMBA DE MANDÍBULAS COM OU SEM DENTES; COM OU SEM ORIFIC.	ÚNICA BROCA (TREPANO)	CONJUNTO DE BROCAS
MOVIMENTOS E EFEITOS DA ESCAVAÇÃO	ROTAÇÃO SEM VIBRAÇÃO PARA OS FUROS CIRCULARES E PERCUSSÃO C/ VIBRAÇÃO P/O "CLAMSHELL"	ROTAÇÃO E PERCUSSÃO COM VIBRAÇÃO	PERCUSSÃO COM VIBRAÇÃO	ROTAÇÃO E PERCUSSÃO COM POUCA VIBRAÇÃO	ROTAÇÃO SEM VIBRAÇÃO
REPOSIÇÃO DOS MOTORES	MOTOR ELÉTRICO NA SUPERFÍCIE	MOTOR NA SUPERFÍCIE	MOTOR NA SUPERFÍCIE	MOTOR NA SUPERFÍCIE	MOTOR SUBMERSO
PROTEÇÃO CONTRA RUP-TURA DA ESCAVAÇÃO	LAMA BENTONITA	LAMA BENTONITA	LAMA BENTONITA	LAMA BENTONITA	LAMA BENTONITA
MÉTODO DE RETIRADA DO SOLO	ROTAÇÃO E "CLAMSHELL"	CAÇAMBA	"CLAMSHELL"	CIRCULAÇÃO INVERSA	CIRCULAÇÃO INVERSA
ESPESSURA DAS PAREDES (m)	0,3 0,8	0,4 1,0	0,4 1,2	0,4 0,8	0,4 1,2
DIMENSÕES BÁSICAS DO EQUIPAMENTO	8,0 3,5 6,0	15 — —	15 — —	7,0 2,5 7,5	ALTURA 4,5 LARGURA 3,0 COMPRIMENTO 3,5
PESO APROXIMADO (TN)	7,5	45,0	VAR.	11,0	11, 25
DISTÂNCIA MÍNIMA A ESTRUTURA ADJACENTES (m) (MEDIDA NO EIXO DA LAMELA)	0,50	0,55	0,80	0,55	0,50

TABELA Nº 1 - PRINCIPAIS CARACTERISTICAS DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA ESCAVAÇÃO EM PAREDES DIAFRAGMAS, METRÔ (1979).

será garantida pela aplicação da pressão da lama nessa película impermeável

A propriedade tixotrópica é a responsável pela formação dessa película, pois, sendo a pressão da lama maior que a da água, aquela vai penetrando nos vazios do solo e, na medida em que a resistência vai aumentando, a lama vai adquirindo rigidez suficiente para a formação do filme impermeável. A tixotropia é a transformação sol-gel isotérmica reversível.

A bentonita é uma argila de granulação muito fina, com dimensões da fração da argila = 2μ , composta por minerais do grupo da esmectita. Os argilos-minerais do grupo da esmectita são constituídos por duas folhas de silicato tetraédricos, com uma camada central octaédrica, unidas entre si por oxigênio comuns às camadas. A fórmula teórica é: $Al_4 Si_6 O_{20} (OH)_4 \times n H_2O$ (n = água interlamelar). No entanto, os argilo-minerais sempre diferem dessa composição devido à substituição isomórfica no retículo cristalino. Assim é que, na posição tetraédrica, pode haver a substituição do alumínio pelo silício, da ordem de 15%, e nas posições octaédricas, isoladamente, ou em combinação, poderemos ter alumínio, ferro, magnésio e outros. Normalmente 2/3 das posições octaédricas preenchidas.

Quando os argilos-minerais esmectíticos são colocados em água ou em ambientes úmido, os cátions trocáveis se hidratam, aumentando o espaçamento basal. Pesquisas indicam que as bentonitas são argilas residuais formadas pela alteração in situ de cinzas, tufas ou vidros vulcânicos depositados em lagos salinos ou ambientes marinhos, ocorrendo em espessuras de 0,30 m até 1,20 m.

O nome bentonita foi dado em função do depósito descoberto em folhelhos argilosos de Fort Benton, Wyoming, Sul de Dakota e Montana Estados Unidos da América, onde esta argila foi pela primeira vez considerada como um tipo especial de argila.

Essas argilas possuem a propriedade de incharem até vinte vezes o seu volume quando imersas em água. Uma vez colocadas em água e expandida, a bentonita entra em suspensão formando solução coloidal, sol ou gel quando em repouso, permanecendo, em suspensão estável por meses.

Os fatores que governam a estabilidade de um sol são:

- as partículas dispersas devem ter diâmetros médios inferiores a $0,1 \mu$ para poderem apresentar movimento Browniano; - as partículas devem possuir carga elétrica superficial que impeça a aglomeração dos mesmos por ocasião dos choques entre si, proveniente do movimento Browniano.

Além dos fatores acima, são importantes os seguintes: PH da argila; concentração na suspensão; granulometria da argila; natureza e teor dos cátions trocáveis; teor dos sais solúveis e de matéria orgânica.

Dessa forma são necessárias verificações das propriedades da lama antes e durante sua utilização, como mostra a TABELA Nº 2. Assim é que, de maneira geral, devem ser feitos os seguintes ensaios de controle: controle da densidade; controle da viscosidade; controle do cake e filtrado; controle da acidez do PH; e controle da porcentagem da areia.

CONTROLE DA DENSIDADE - O ensaio para verificação é feito através da mud balance da Baroide (FIGURA-3.45). Consiste no preenchimento do recipiente da balança com lama e, equilibrando-o através do nível, obtendo-se na régua graduada o valor da densidade. Boas soluções estabilizadoras apresentam valores da densidade entre $1,020$ e $1,050 \text{ g/cm}^3$.

CONTROLE DA VISCOSIDADE - O ensaio da viscosidade é realizado, através do viscosímetro marsh (FIGURA-3.46). Medindo-se o tempo em segundos necessário para o escoamento de 946 cm^3 de lama, passando antes por uma peneira de malha $1,5 \text{ mm}$. A prática tem mostrado que valores da viscosidade na faixa de 32 e 37 seg, apresentam resistências de gel suficientes para um bom desempenho da lama durante a escavação da vala.

CONTROLE DO CAKE E FILTRADO - Em linhas gerais o ensaio serve para observar se a lama apresenta boas condições tanto na formação da película impermeável, quanto no que se refere ao grau de impermeabilidade à passagem da água. O ensaio para determinação do Cake é efetuado em aparelho especial (FIGURA-3.47), onde a mistura é colocada em recipiente hermeticamente vedado na parte superior e na inferior apenas por tela e papel de filtro. Sob o recipiente é colocada uma proveta que recebe a água filtrada pelo papel, quando a lama é submetida a uma pressão de $0,7 \text{ MPa}$ (100 libras/pol^2), durante 7 min e 30 seg.

PROGRAMA DE ENSAIOS PARA O TRABALHO NORMAL

QUANDO O TESTE É INDICADO	LOCAL DE RETIRADA DA AMOSTRA	Nº DE VEZES	TESTES
Antes da escavação	Tanque	1	Densidade Viscosidade
Durante a escavação	Na vala	Mínimo 1 Repetir a cada 12 horas	Densidade Viscosidade Determinação de pH
Depois da escavação	Na vala	1	Densidade Viscosidade
Antes da concretagem	Na vala	1	Densidade Viscosidade Determinação de pH % areia
Depois da concretagem (para reaproveitamento da lama)	Tanque	1	Densidade Viscosidade Determinação de pH
No começo da operação diária	Tanque	1	Densidade Viscosidade
No fim da operação diária	Tanque	1	Densidade Viscosidade
Depois de chuva significativa	Na vala	1	Densidade Viscosidade Teste do cake

TABELA Nº 2 - PROGRAMA DE ENSAIOS PARA O TRABALHO NORMAL NA EXECUÇÃO DA PAREDE DIAFRAGMA, METRÔ (1979).

A determinação do cake é feita, colocando-se o papel de filtro com o material retido entre as duas lâminas de vidro, medindo a espessura entre as lâminas (cake) com paquímetro. O volume de água recolhido na proveta fornece indicação sobre a permeabilidade do cake e representa o filtrado. Para lama sem uso a espessura do cake varia entre 1,5 e 2,0 mm, enquanto o filtrado varia entre 10 a 20 ml.

CONTROLE DO PH - A variação do PH da lama durante a escavação e concretagem poderá representar sérios problemas se não forem tomadas medidas necessárias, pois tal variação poderá redundar no fenômeno da floculação, que se evidencia pelo aparecimento de pequenos conglomerados (bolinhas) que se precipitam, separando a bentonita da água.

A determinação do PH da lama pode ser feita por vários processos, sendo o mais usado o método do papel de tornassol. O método consiste na imersão em filtrado de lama de um papel impregnado de fenol que, ao contato com o filtrado reage quimicamente, assumindo nova cor, a ser comparada com uma escala cromática padrão, que dá indicação do PH. Para a bentonita nova, não contaminada, os valores do PH variam na faixa de 8 a 10, não devendo ultrapassar de 12 para lama usada.

TEOR DE AREIA - A determinação do teor de areia é feita colocando-se em uma proveta, certa quantidade de lama 100 cm³, completando-se em seguida com água, 300 cm³. A seguir agita-se fortemente a mistura, despejando-a, num recipiente acoplado a uma peneira malha de 0,075 mm. Após essa operação, inverte-se o recipiente, depositando a areia e água na proveta. Depois da sedimentação, na escala graduada da proveta, é lido diretamente em volume o teor de areia contido na mistura.

Na preparação da lama bentonítica, a natureza do solo, é quem caracteriza a concentração de bentonita na suspensão, encontrando-se de um modo geral na faixa de 25 a 60 kg de bentonita por metro cúbico de água, sendo tanto maior o consumo, quanto mais granular for o solo.

A suspensão bentonítica é preparada em misturadores especiais variando o tempo de homogeneização de 10 a 30 min em função do tipo e capacidade do equipamento. Ao término da homogeneização da suspensão, verifica-se macroscopicamente a ocorrência de aglomerações de bentonita. Caso isto não ocorra, ela é canalizada para um depósito onde fica armazenada e em repouso durante um período de 4 a 12 h, tempo suficiente para a suspensão

adquirir as propriedades tixotrópicas através da formação de gel. O período de repouso varia em função das características da bentonita empregada, e do processo e tempo de homogeneização da mistura. Findo o tempo de repouso, antes da colocação da lama na cava de fundação, são realizados ensaios de caracterização, comparando-se os índices obtidos, com aqueles especificados no projeto.

→ O reaproveitamento da lama, é uma etapa obrigatória na execução da parede diafragma, devido ser este material industrializado de custo relativamente alto. Além disso, deve-se considerar que na fase inicial de concretagem, a suspensão deve ser substituída pro causa da contaminação do solo retirado da escavação. A técnica empregada no reaproveitamento da lama, torna o processo construtivo de parede diafragma mais econômico. São principalmente, dois os processos de desarenação da lama, que devolve à suspensão suas características iniciais: i) POR DECANTAÇÃO - Nesta operação a lama da cava, fica em estado de repouso em tanques de decantação até a sedimentação das partículas mais densas. Pode-se também fazer o peneiramento, a fim de retirar, os grãos e detritos de maior diâmetro; ii) POR PENEIRAMENTO E CENTRIFUGAÇÃO - Consiste em se fazer o peneiramento da lama para retirar as partículas maiores que 1,5 mm e fazer a centrifugação do material menor que 1,5 mm, para retiradas das partículas finas.

b) COLOCAÇÃO DAS ARMADURAS E TUBOS-JUNTA: A armadura é montada no canteiro, em forma de gaiola rígida (FOTOGRAFIAS-3.1 e 3.2), antes de ser colocada na lamela, descendo por intermédio de guindaste. Para assegurar uma boa rigidez da gaiola quanto ao içamento e posicionamento são colocadas barras adicionais ou cantoneiras (FIGURA-3.4B), e pode ainda ser necessário enrijecedores do tipo treliça em cada face do painel. Para centralização da armadura na escavação as gaiolas são dotadas de espaçadores do tipo rolete ou patins de ferro chato. Para painéis de grande altura, poderá haver a necessidade de emendas na gaiola, por simples transpasse, ou do tipo cadweld ou ainda por luvas rosqueadas.

Deve-se controlar a permanência da armadura na suspensão bentonítica, no máximo por duas horas, para evitar aderência nas barras. Após o posicionamento da gaiola na vala, faz-se o travamento da mesma nas alças da parede guia, para se evitar a tendência de subida durante a concretagem.

Ao projetar a armadura do painel deve-se tomar os seguintes cuidados preliminares: para passagem da tromba de

concretagem, deixar uma abertura de 50 a 70 cm; recobrimento mínimo de 5 cm nos dois lados da armadura e no sentido transversal da vala, deixar no mínimo 30 cm entre o fundo da vala e o pé da gaiola; deixar no mínimo 10 cm entre o tubo-junta e a gaiola; soldar as armaduras longitudinais na parte externa da gaiola com espaçamento livre mínimo de 10 cm entre as barras. A FIGURA-3.49 mostra estas distâncias mínimas, e as alças de travamento.

→ A construção de parede diafragma é realizada por painéis de comprimento limitado, a fim de garantir a continuidade da cortina e de melhorar a qualidade do concreto na região das juntas, é que são utilizadas juntas metálicas nas extremidades, de cada painel. Essas juntas possuem formas variadas, como mostrado anteriormente na FIGURA-3.21, mas a do tipo circular é mais usada, possuindo largura igual a do equipamento de escavação e sendo sua parte exterior a mais lisa possível para facilitar a extração que deverá ser executada após o primeiro enrijecimento do concreto, e antes da sua pega, tendo início de 2 a 4 h após o início da concretagem do painel.

Em paredes diafragma profundas, o tubo junta é composto por vários tubos, unidos por processos que não deixam nenhuma saliência externa, para não dificultar sua extração.

c) CONCRETAGEM - A concretagem da parede diafragma, é executada por concreto auto-adensável, lançado de baixo para cima através de tubos verticais (trémie), estanques, introduzidas até o fundo da cava a se concretar, e é acoplado a um funil na sua extremidade superior. O diâmetro interno do tubo deve-se situar na faixa de 8 a 10 vezes o diâmetro máximo do maior agregado utilizado no traço. Também o tubo é constituído por segmento de 1 a 3 m encaixáveis, que vão sendo retirados à medida que o concreto vai subindo, tendo-se o cuidado de evitar que o mesmo saia da massa do concreto, deixando-o no mínimo 30 cm entre a cota atingida pelo concreto e a ponta do tubo.

→ O concreto deve ser bastante plástico para poder preencher todo o painel e esta trabalhabilidade é da maior importância para se obter bons resultados e expulsar a lama a partir do fundo do painel devido a sua maior densidade.

→ A técnica para impedir a contaminação do concreto com a lama existente no interior da cava de fundação, consiste em colocar uma bola de borracha, couro ou isopor,

no extremo superior do tubo e, quanto mais profunda for a cava, mais resistente deve ser o material da bola. Iniciada a concretagem a bola pressionada às paredes do tubo expulsa o material existente no seu interior, evitando assim a contaminação do concreto. A fim de permitir a saída da bola e o escoamento do concreto, o tubo deve ser suspenso cerca de 10 a 15 cm, momento antes de iniciar a concretagem. Ao ser expulsa, a bola volta a superfície da cava, de onde é retirada manualmente.

O método de concretagem por tubo trémie apresenta as seguintes vantagens: eliminação de vazios pelo uso de concreto auto adensável; rápida concretagem para grandes volumes de concreto a grande profundidade; boas condições de cura do concreto. Apresenta também as seguintes desvantagens: abatimento do concreto da ordem de 14 a 22 cm, conduzindo a consumos elevados de cimento; dificuldade na inspeção dos resultados; dificuldade no tratamento de juntas de concretagem; resistência questionável nos extremos superior e inferior das peças.

O concreto para paredes diafragmas exige uma quantidade de água elevada. Recomenda-se manter a relação água-cimento pouco acima de 0,5. Também será grande o consumo de cimento, aproximadamente 4KN/m^3 . O volume do concreto lançado em um painel será sempre maior que o volume teórico de escavação, primeiro porque ele comprimirá as paredes do painel que sofrerão uma pequena deformação; segundo, porque dependendo do tipo de solo e do equipamento empregado, a escavação será sempre um pouco maior que a teórica. Esse excesso de concreto, variará de 3 a 6% em argilas, 4 a 7% em areias e de 7 a 15% em pedregulhos. Em argilas muito moles esse excesso poderá ser ainda maior.

Antes da concretagem de algum painel, devem-se tomar alguns cuidados preliminares, a saber:

1) planejamento dos equipamentos utilizados durante a concretagem com o propósito de se evitarem paralisações para não acarretar formações de juntas frias. As paralisações que mais acontecem são devido a demora do fornecimento de concreto, quebra do equipamento, defeitos na central de concreto, falta de energia elétrica, agregados insuficientes para atender o volume de concreto programado e falta de equipamentos de reserva;

2) limpeza e desobstrução do tubo, de forma a evitar eventuais entupimentos pela presença de concreto endurecido aderido às paredes do tubo;

3) previsão de comunicação entre a central de concreto e o local de concretagem, de forma a evitar a interrupção do fornecimento ou acúmulo de caminhões na frente de serviços;

↖ 4) exame das condições dos acessos dos caminhões de transporte do concreto, para se evitar que a lama penetre no tambor do freio dos veículos;

↖ 5) exame antes do funcionamento de todo o equipamento a ser utilizado na concretagem, como também os ensaios da lama e do concreto.

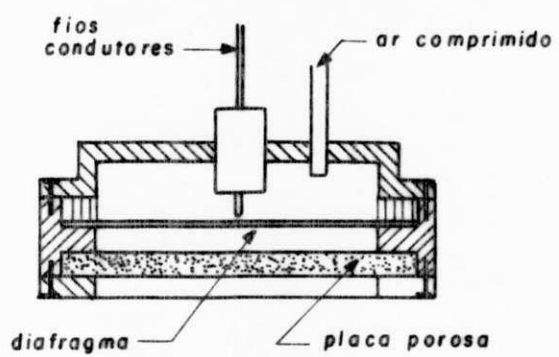


FIGURA 3.1 — CÉLULA GOLD - BECK MODIFICADO, ESTEVES, V.P. (1964).

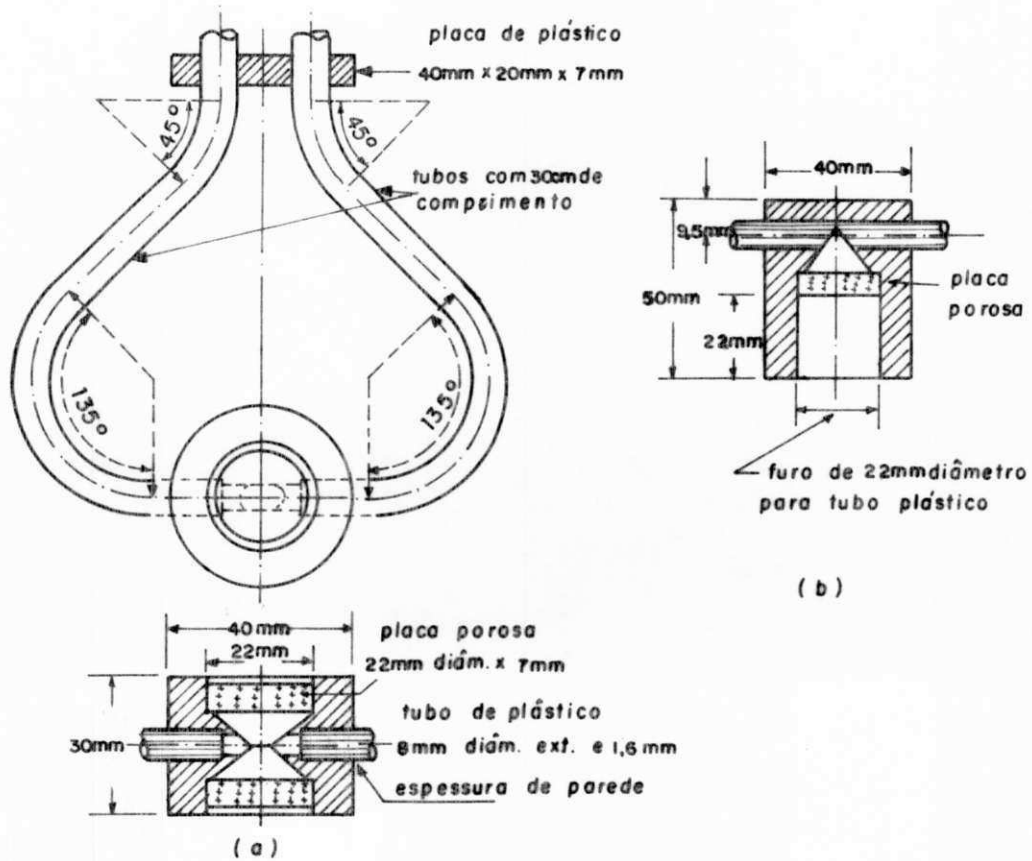


FIGURA 3.2 — PONTAS PIEZOMÉTRICAS UTILIZADAS ANTIGAMENTE.
ESTEVEZ, V.P. (1964).

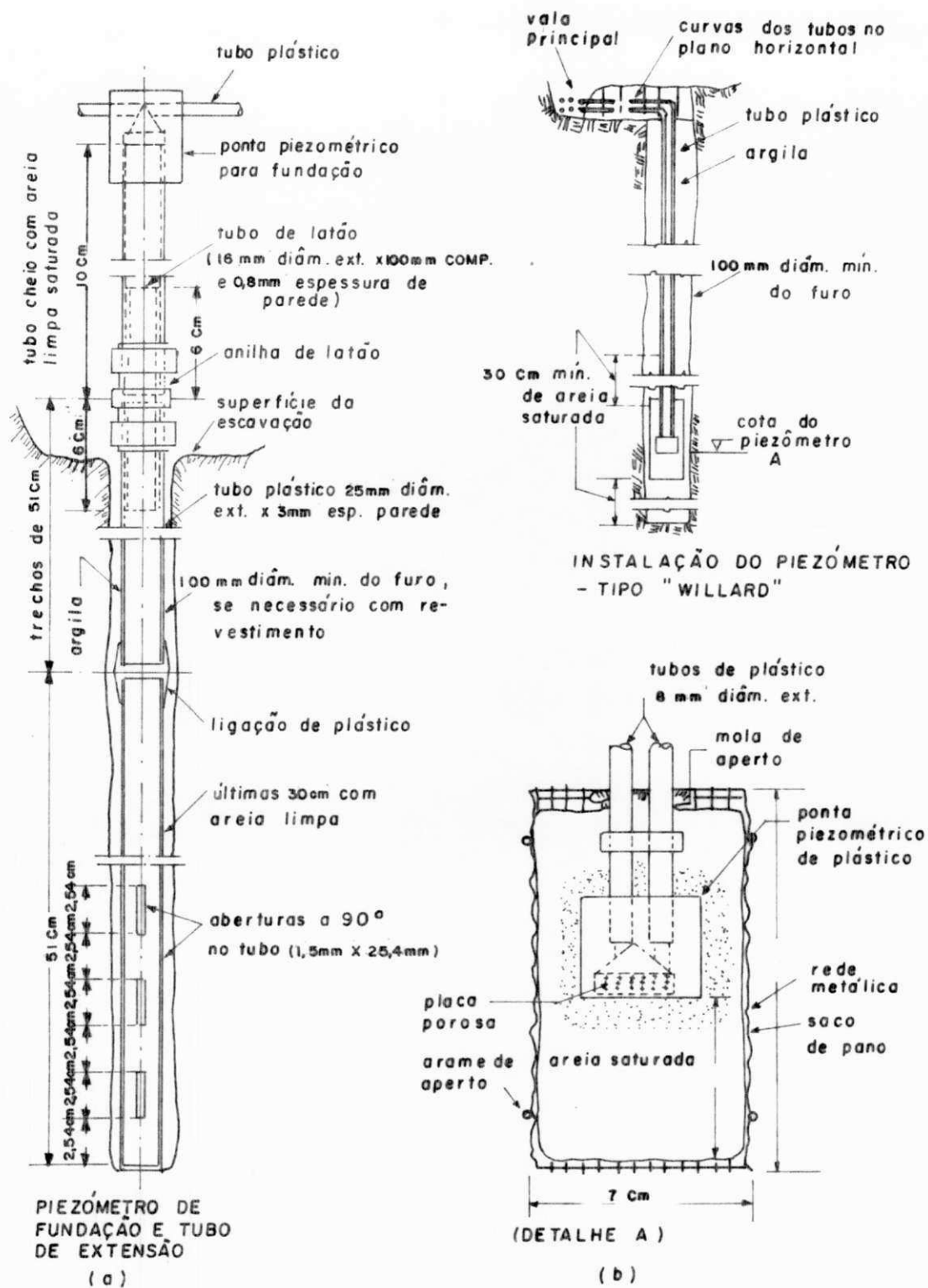


FIGURA 3.3 — PIEZÔMETRO DE FUNDAÇÃO — TIPO WILLARD, ESTEVES, V.P. (1964).

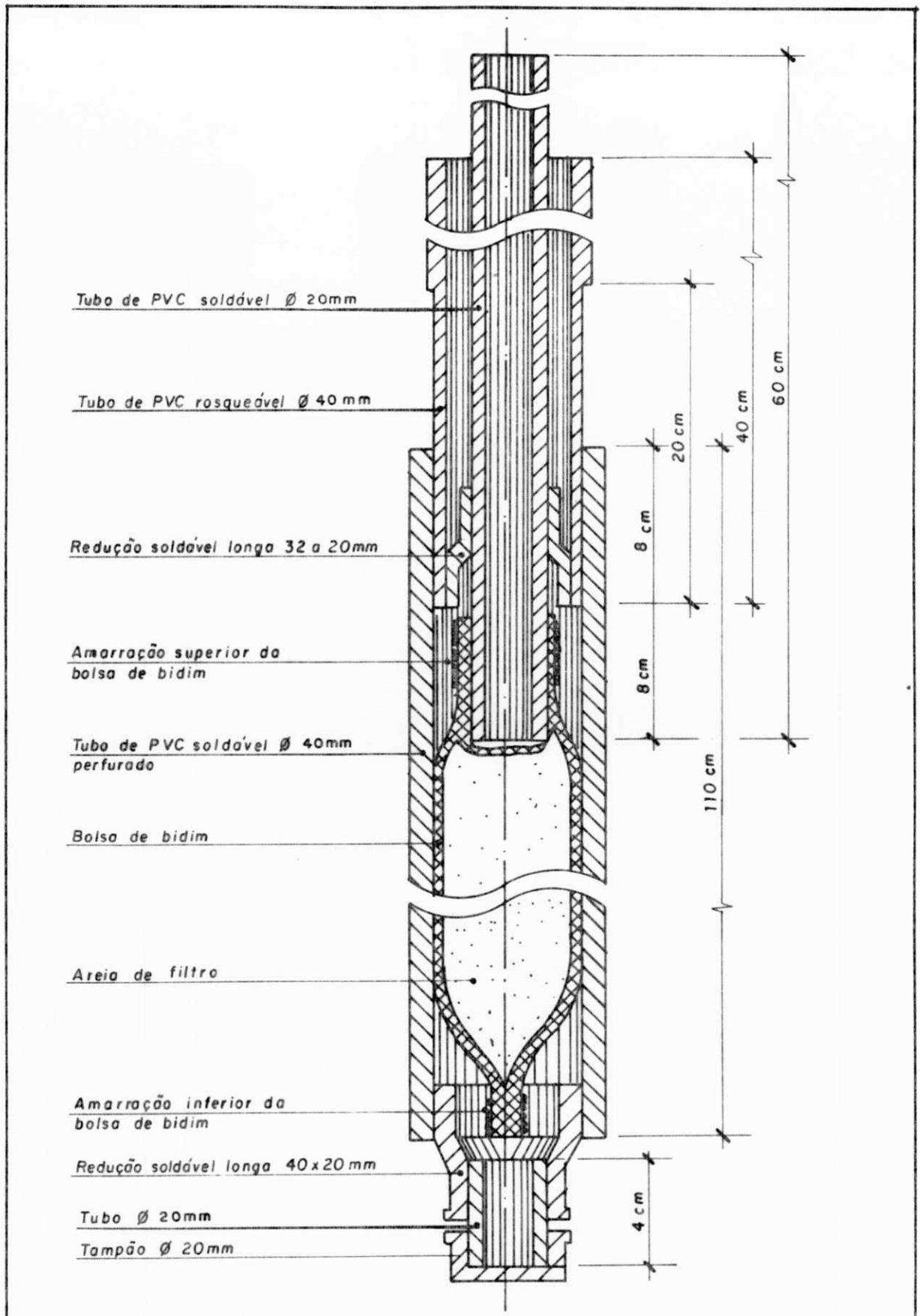


FIGURA 3.4 - CÉLULA PIEZOMÉTRICA DO PIEZÔMETRO CASAGRANDE, TECNOSAN ENGENHARIA S/A (1987).

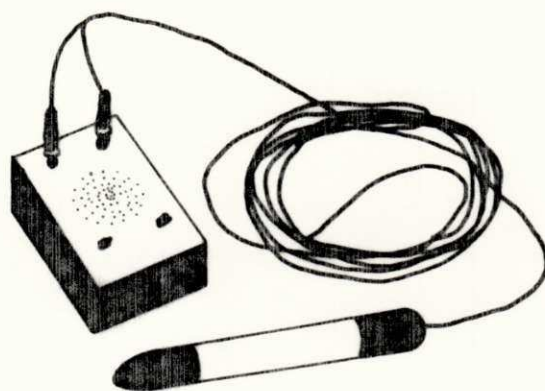


FIGURA 3.5 — DISPOSITIVO DE LEITURA PARA PIEZÔMETROS DO TIPO ABERTO, CESP. (1988).

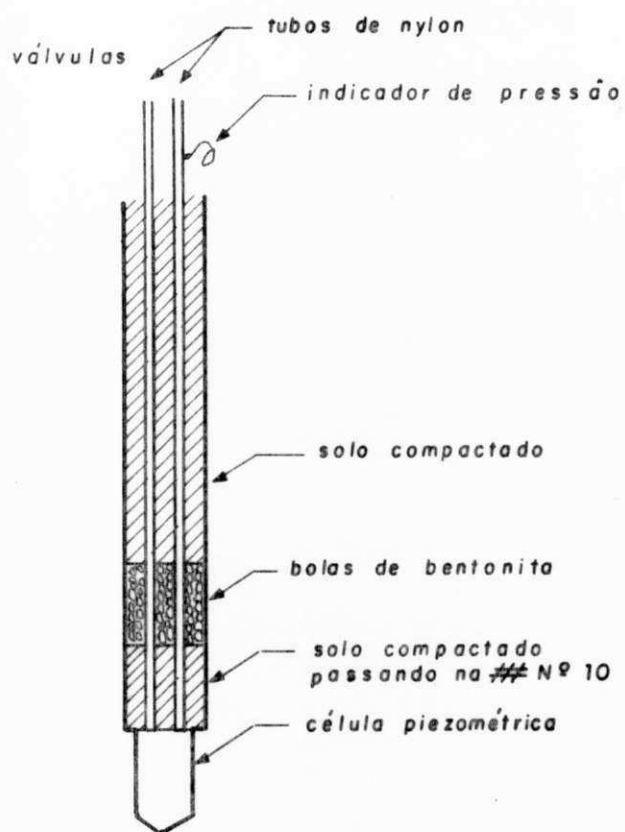


FIGURA 3.6 — PIEZÔMETRO HIDRÁULICO DE TUBO FECHADO TIPO BISHOP, THOMÉ JUCÁ, J.F. (1984).

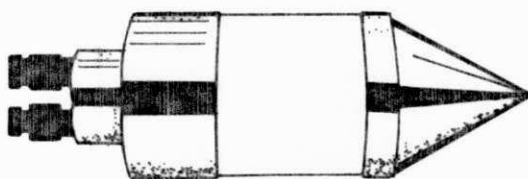


FIGURA 3.7 — CÉLULA DO PIEZÓMETRO DE TUBO FECHADO, CESP (1988).

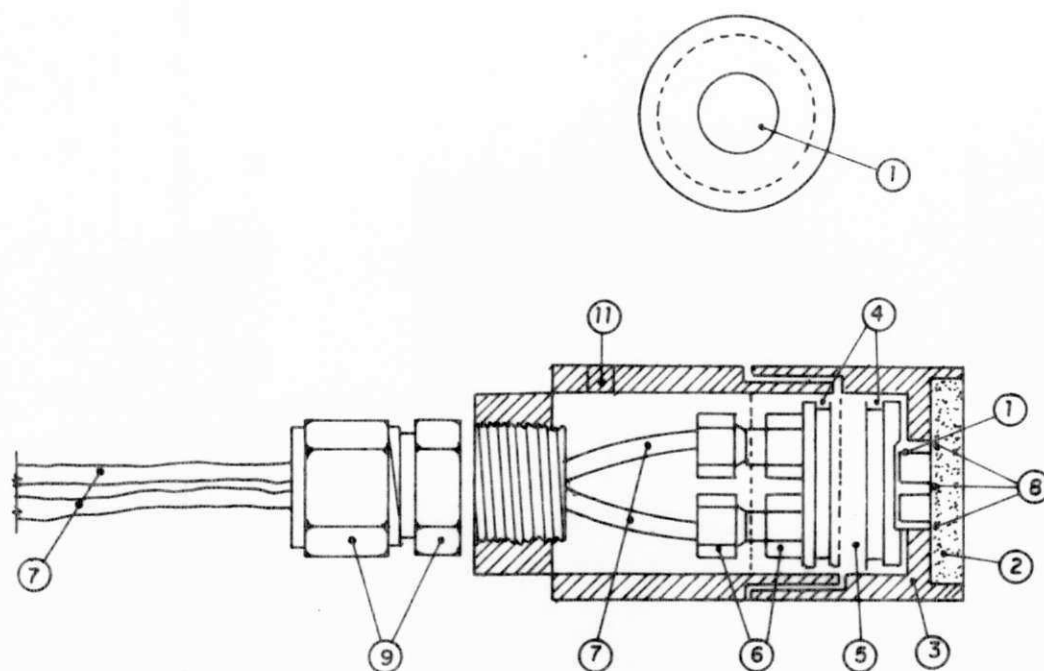


FIGURA 3.8 — CORTE TÍPICO DA CÉLULA PNEUMÁTICA. TECNOSAN S/A (1987).

1. DIAFRAGMA DE AÇO INOX
2. FILTRO GRANULADO DE METAL
3. CORPO DE FIBRA DE VIDRO
4. ANÉIS DE BORRACHA "O RING"
5. CÉLULA DO PIEZÔMETRO PNEUMÁTICO
6. CONEXÕES INTERNAS
7. TUBOS DE NYLON 3mm
8. ORIFÍCIOS DE SATURAÇÃO
9. CONEXÕES EXTERNAS

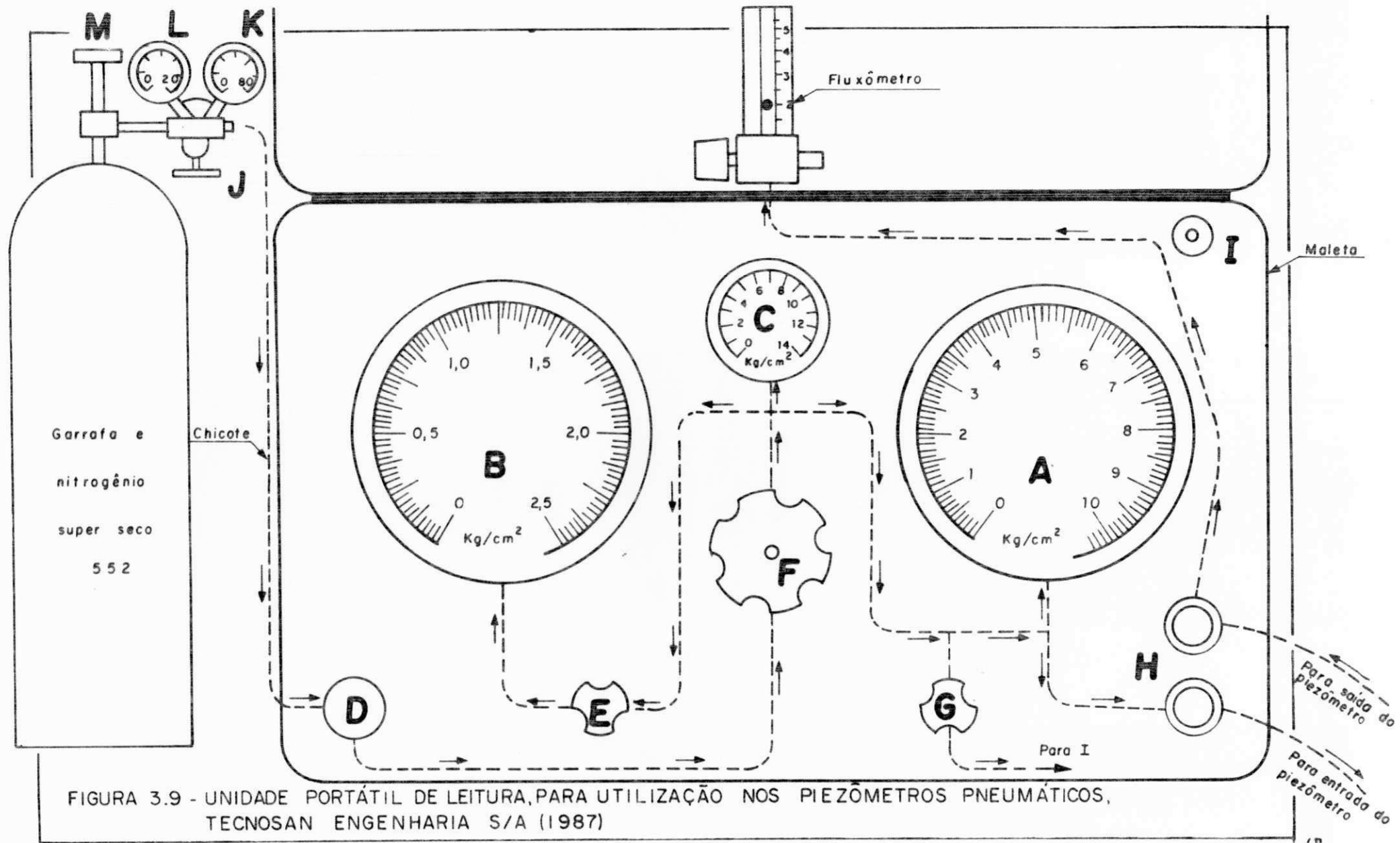


FIGURA 3.9 - UNIDADE PORTÁTIL DE LEITURA, PARA UTILIZAÇÃO NOS PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS, TECNOSAN ENGENHARIA S/A (1987)

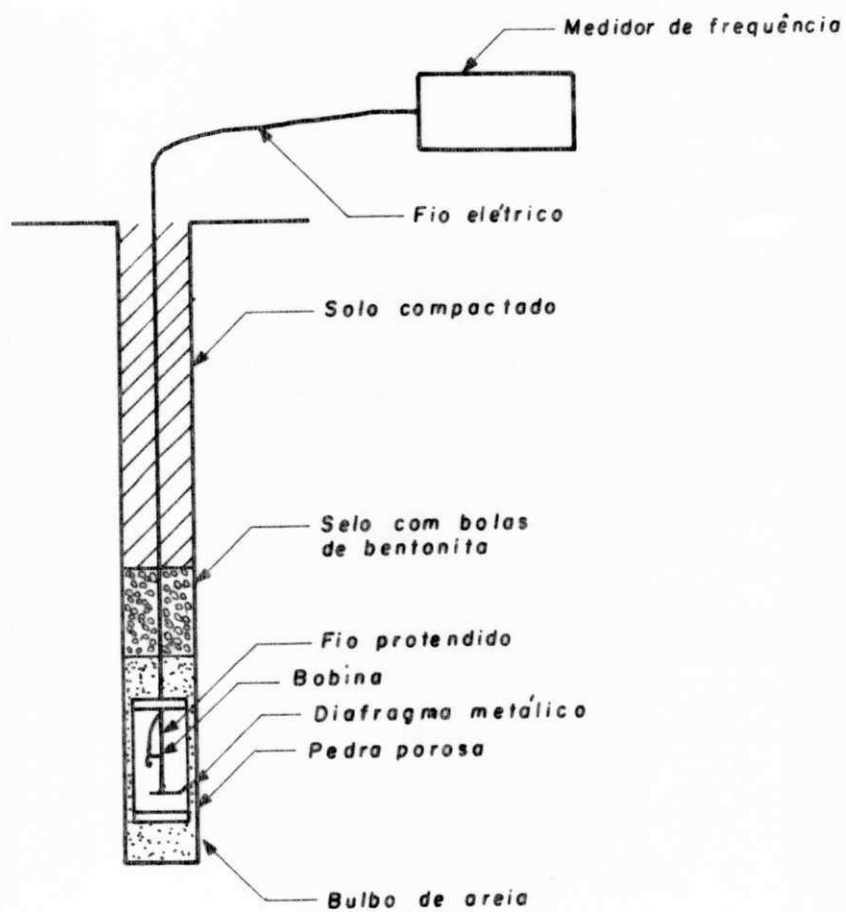


FIGURA 3.10 - PIEZÔMETRO ELÉTRICO DE CORDA VIBRANTE, THOMÉ JUCÁ, J.F. (1984).

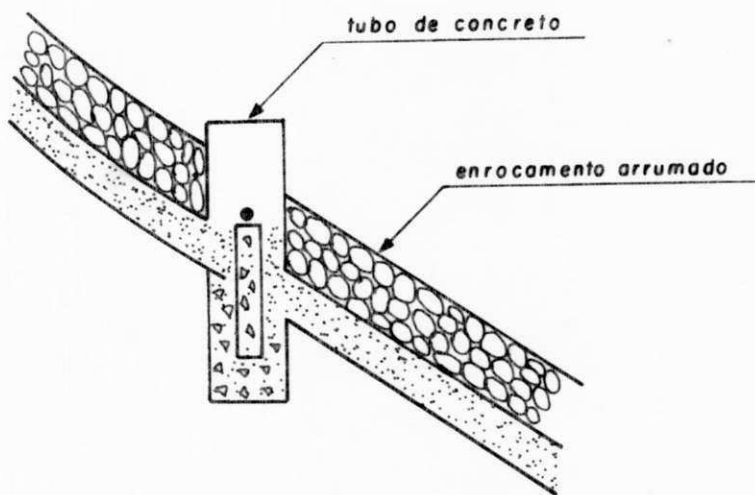
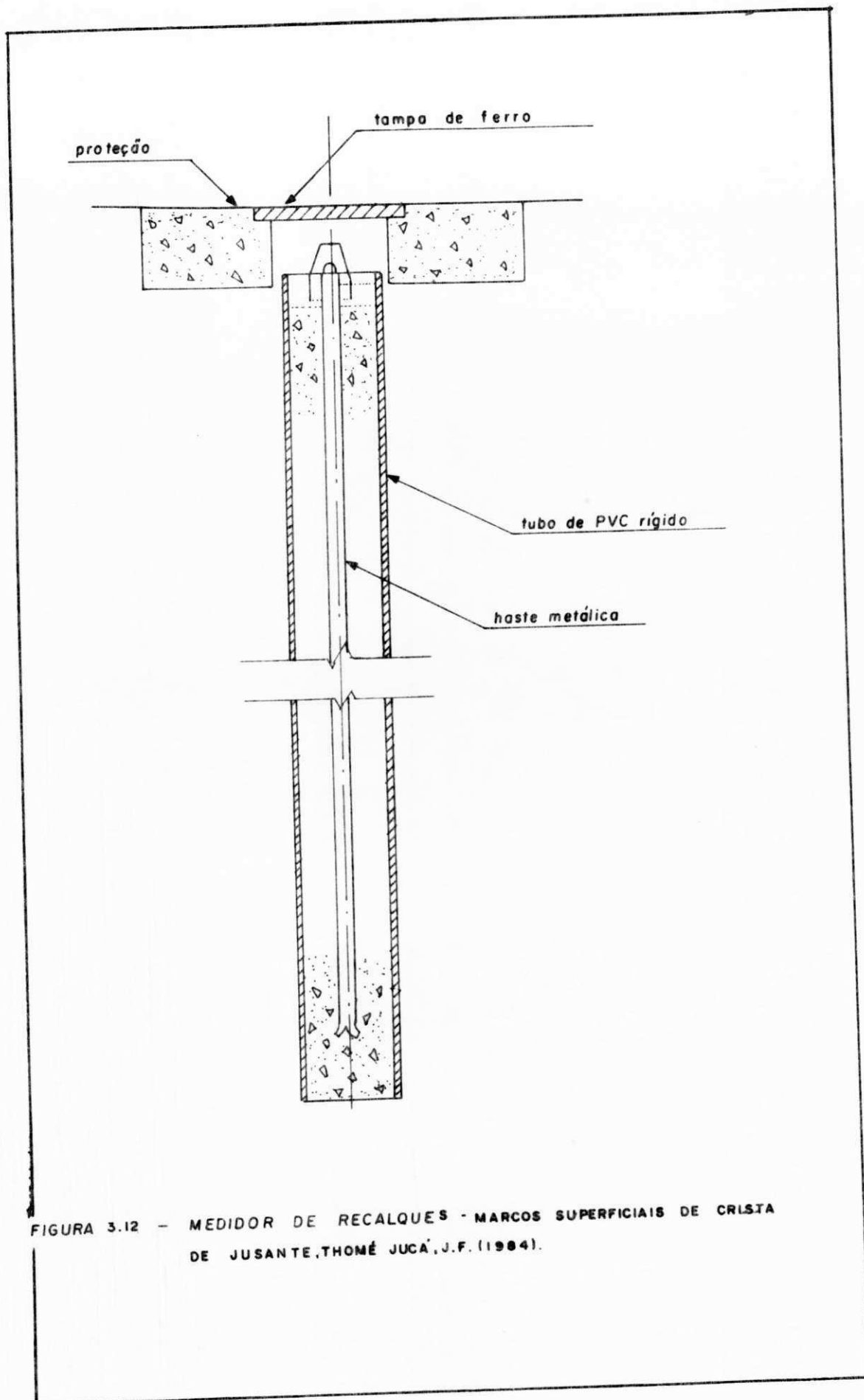


FIGURA 3.11 - MEDIDORES DE RECALQUES - MARCOS SUPERFICIAIS DE MONTANTE, THOMÉ JUCÁ, J. F. (1984).



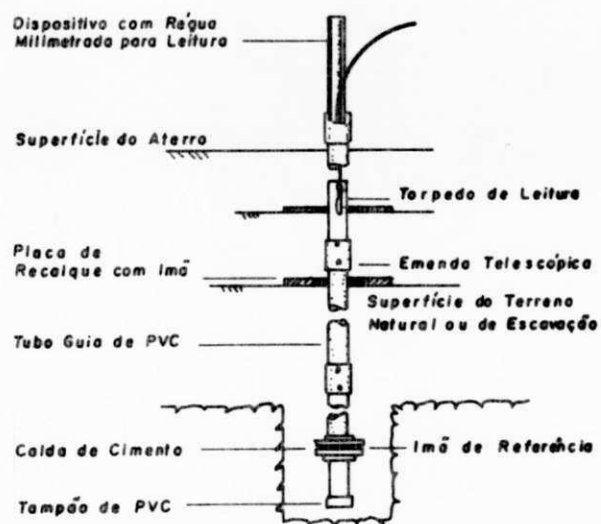


FIGURA 3.13 — MEDIDOR DE RECALQUES TIPO MAGNÉTICO. CESP (1988).

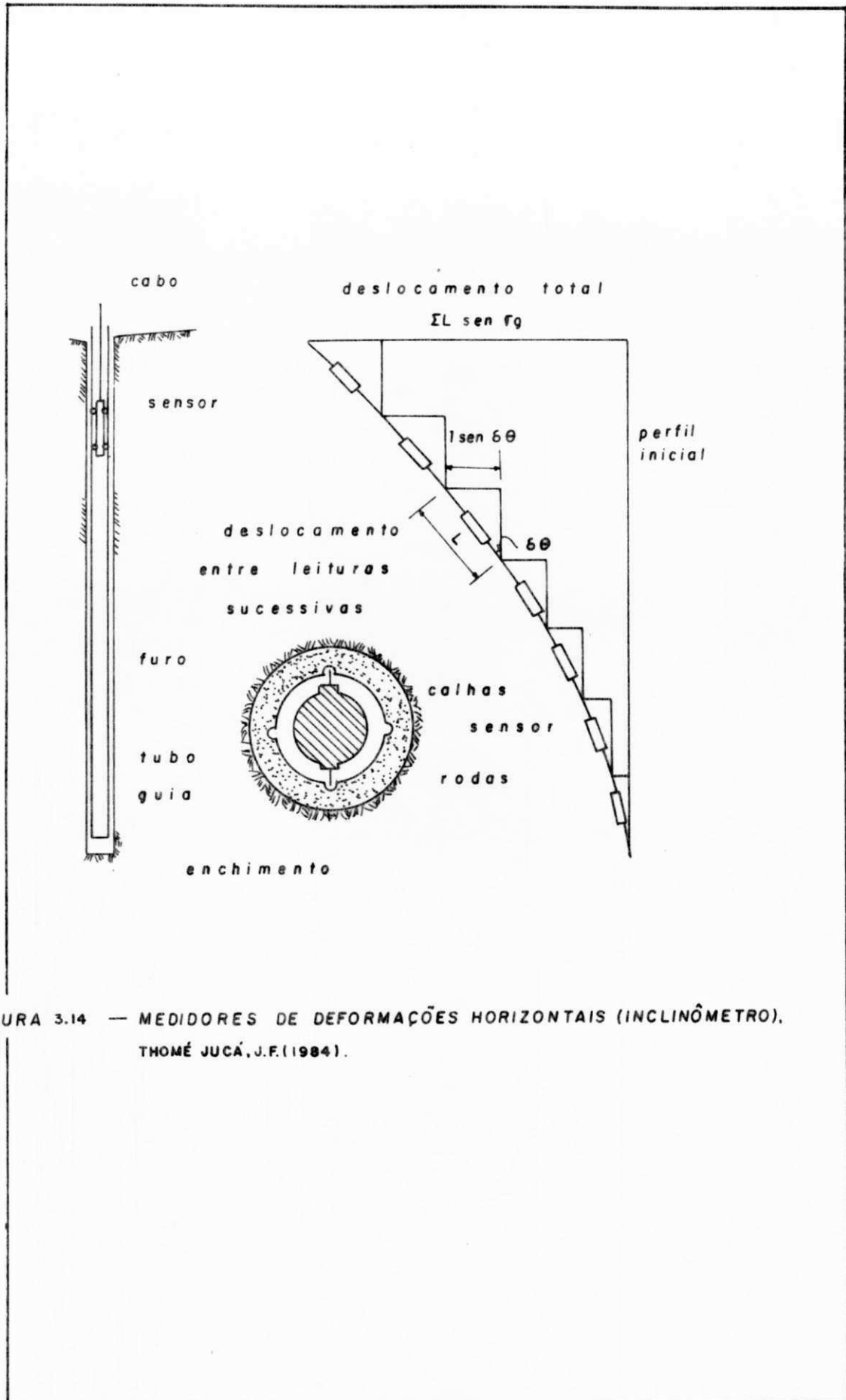


FIGURA 3.14 — MEDIDORES DE DEFORMAÇÕES HORIZONTAIS (INCLINÔMETRO).
THOMÉ JUCA, J.F. (1984).

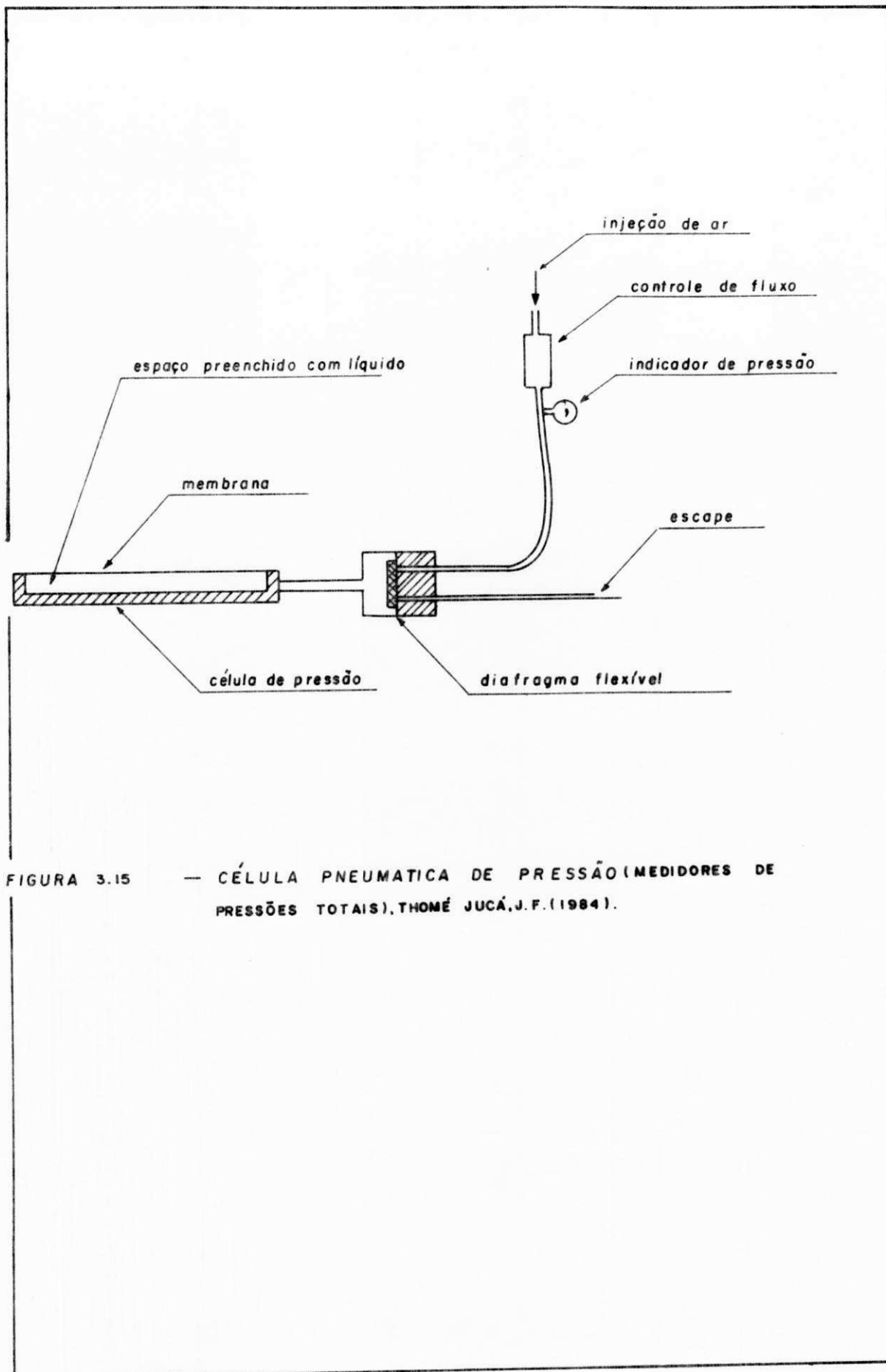


FIGURA 3.15 — CÉLULA PNEUMÁTICA DE PRESSÃO (MEDIDORES DE PRESSÕES TOTAIS), THOMÉ JUCÁ, J.F. (1984).

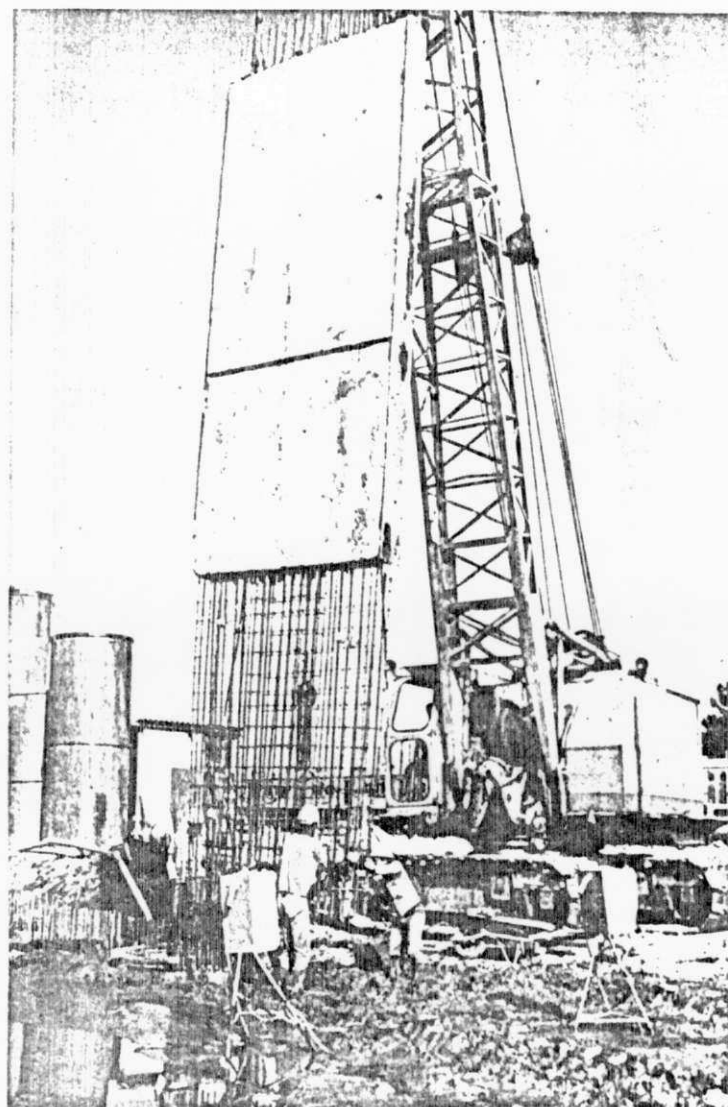


FIGURA-3.16 - Painel de parede diafragma
pré-moldado, FUNDESPE (1987)

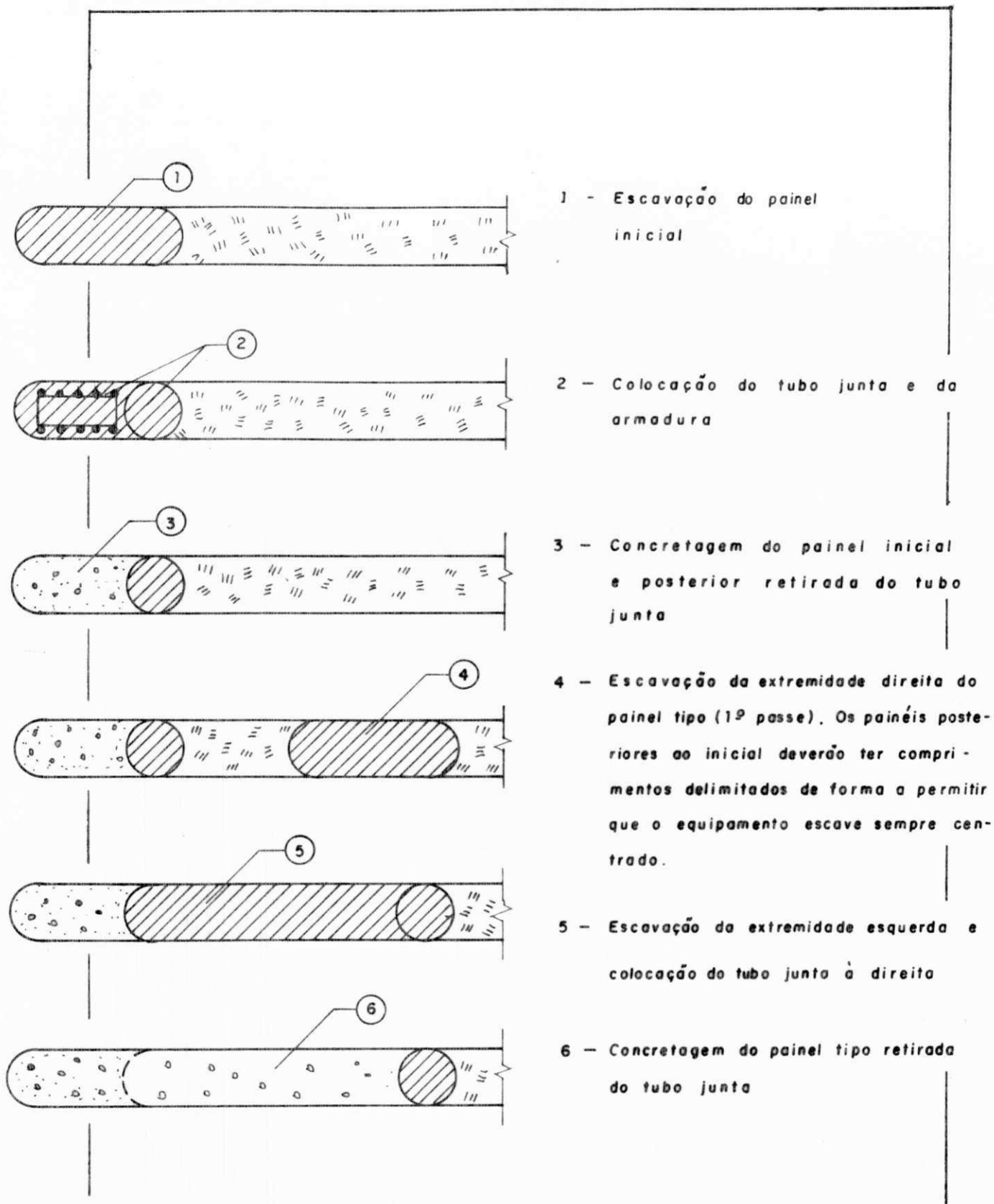


FIGURA 3.17 - SEQUÊNCIA DE EXECUÇÃO DE PAREDE DIAFRAGMA EM PAINÉIS SUCESSIVOS. METRÔ (1979)

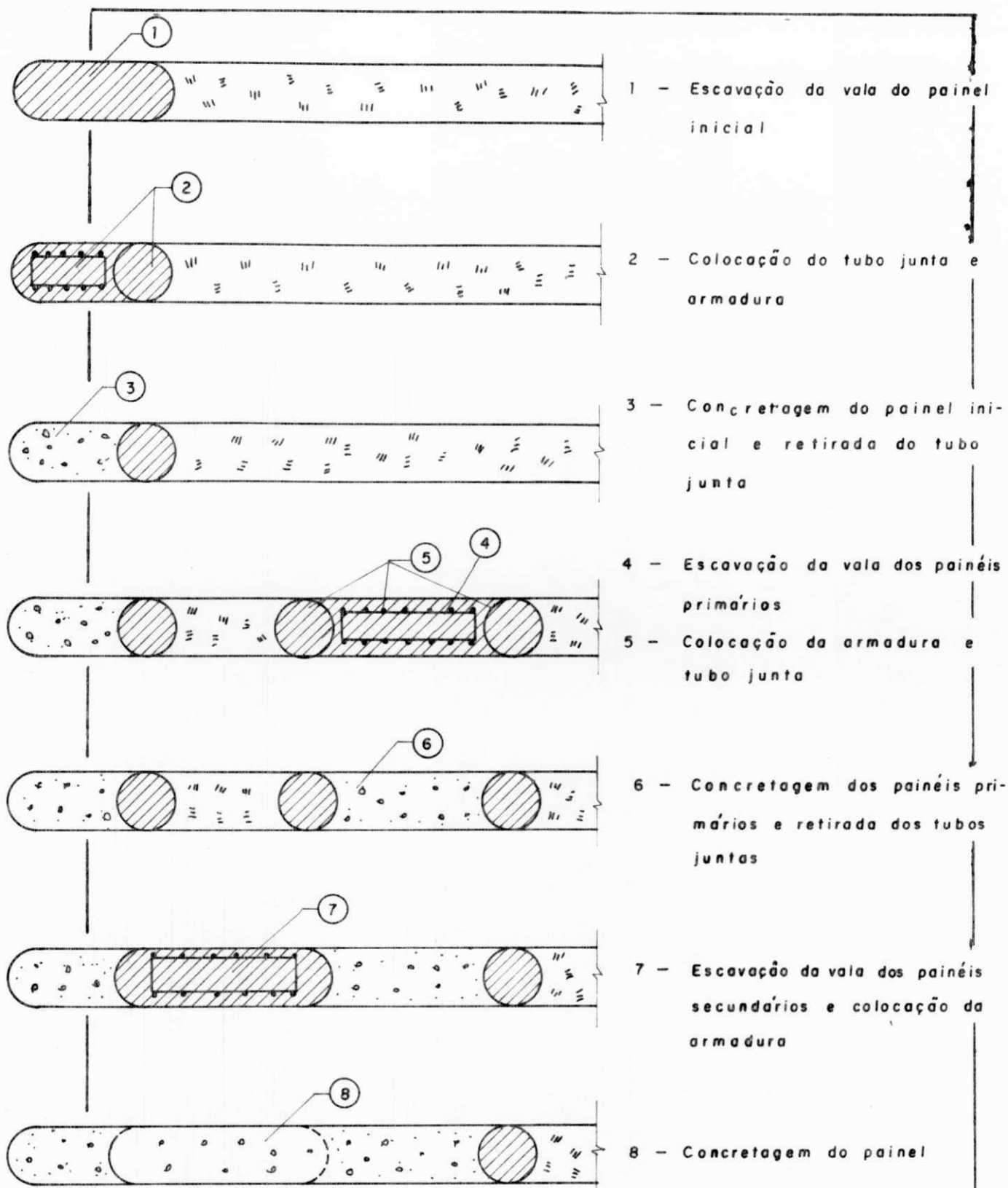


FIGURA 3.18 — SEQUÊNCIA DE EXECUÇÃO DE PAREDE DIAFRAGMA EM PAINÉIS ALTERNADOS, METRÔ (1979)

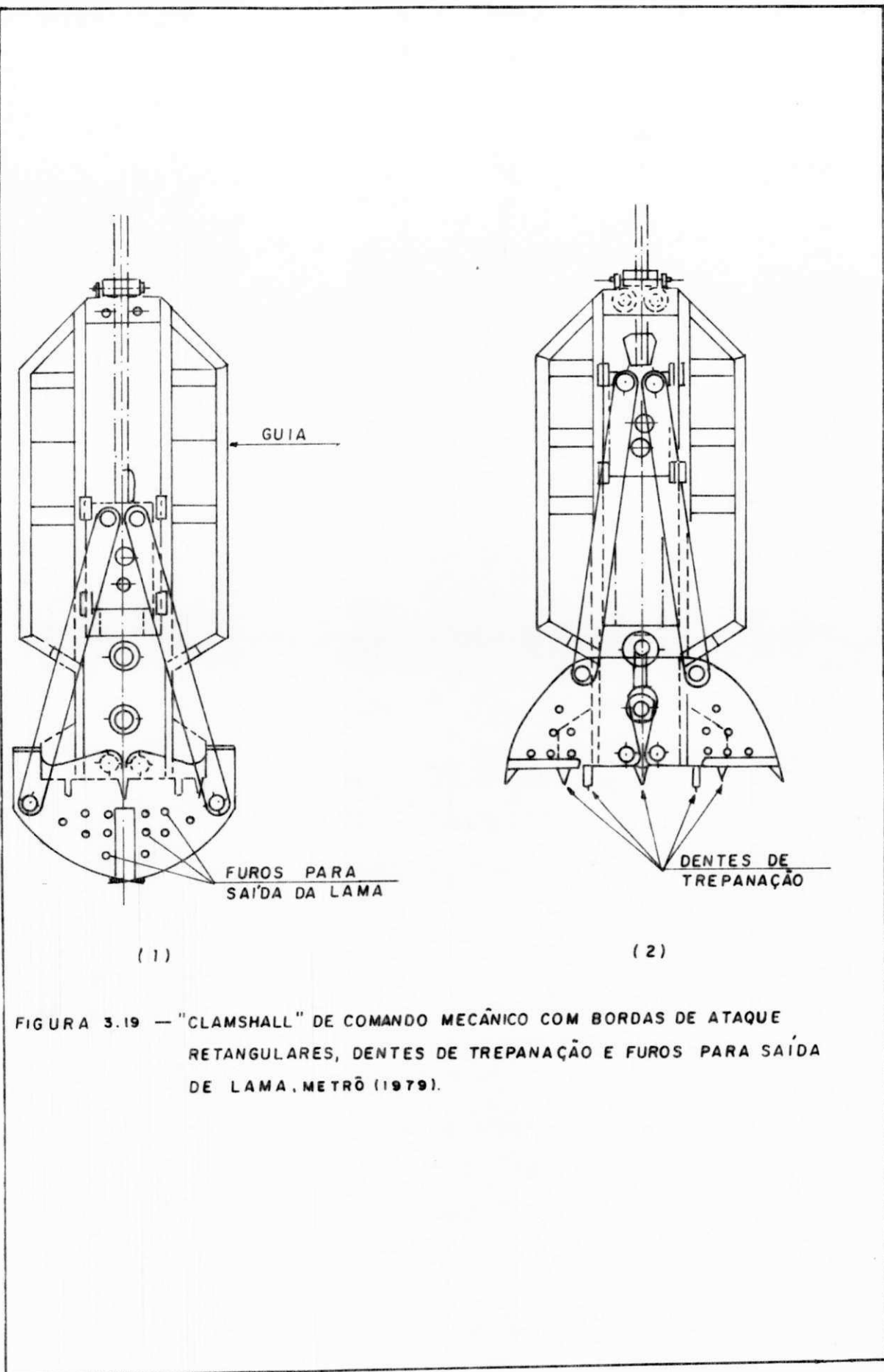


FIGURA 3.19 — "CLAMSHALL" DE COMANDO MECÂNICO COM BORDAS DE ATAQUE RETANGULARES, DENTES DE TREPANAÇÃO E FUROS PARA SAÍDA DE LAMA. METRÔ (1979).

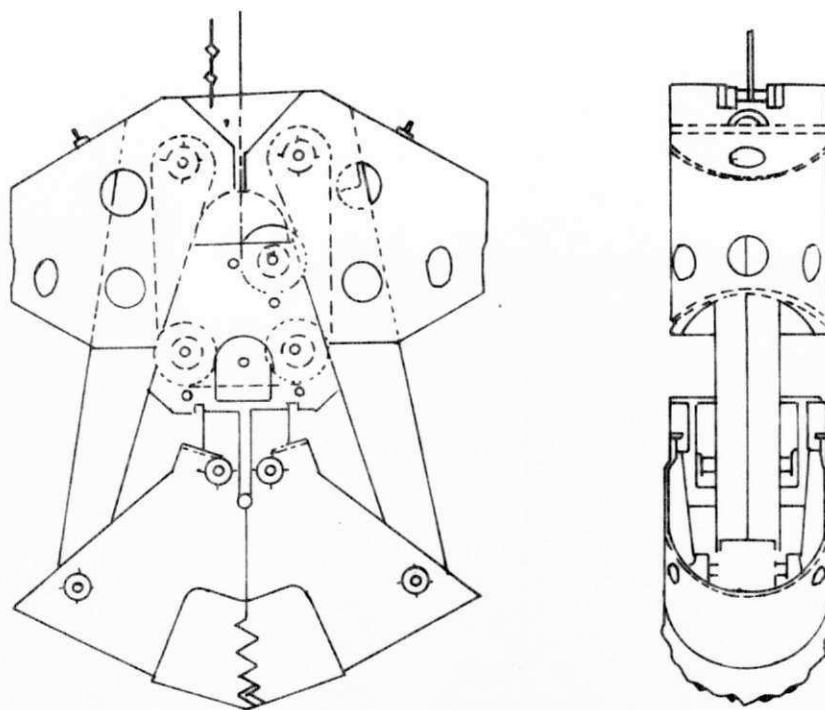


FIGURA 3.19.1— "CLAMSHELL" DE COMANDO MECÂNICO COM BORDAS DE ATAQUE SEMI-CIRCULARES, METRÔ (1979).

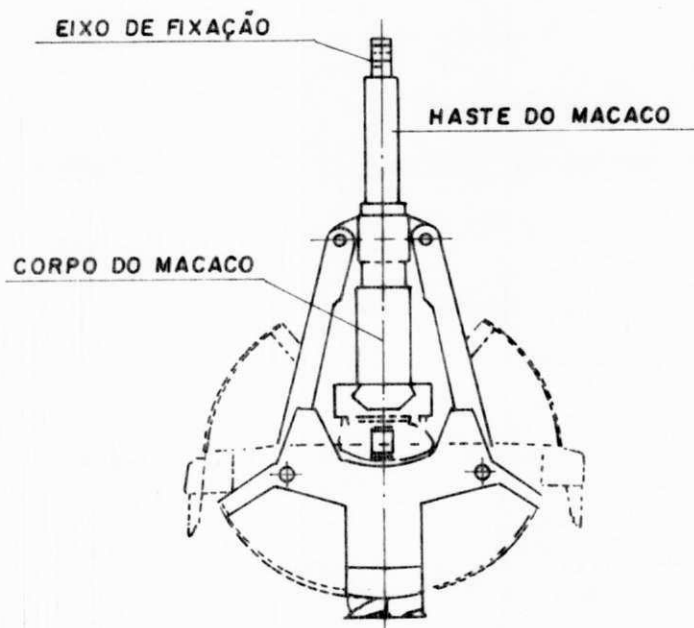


FIGURA 3.20 — "CLAMSHELL" DE COMANDO HIDRÁULICO, METRÔ (1979).

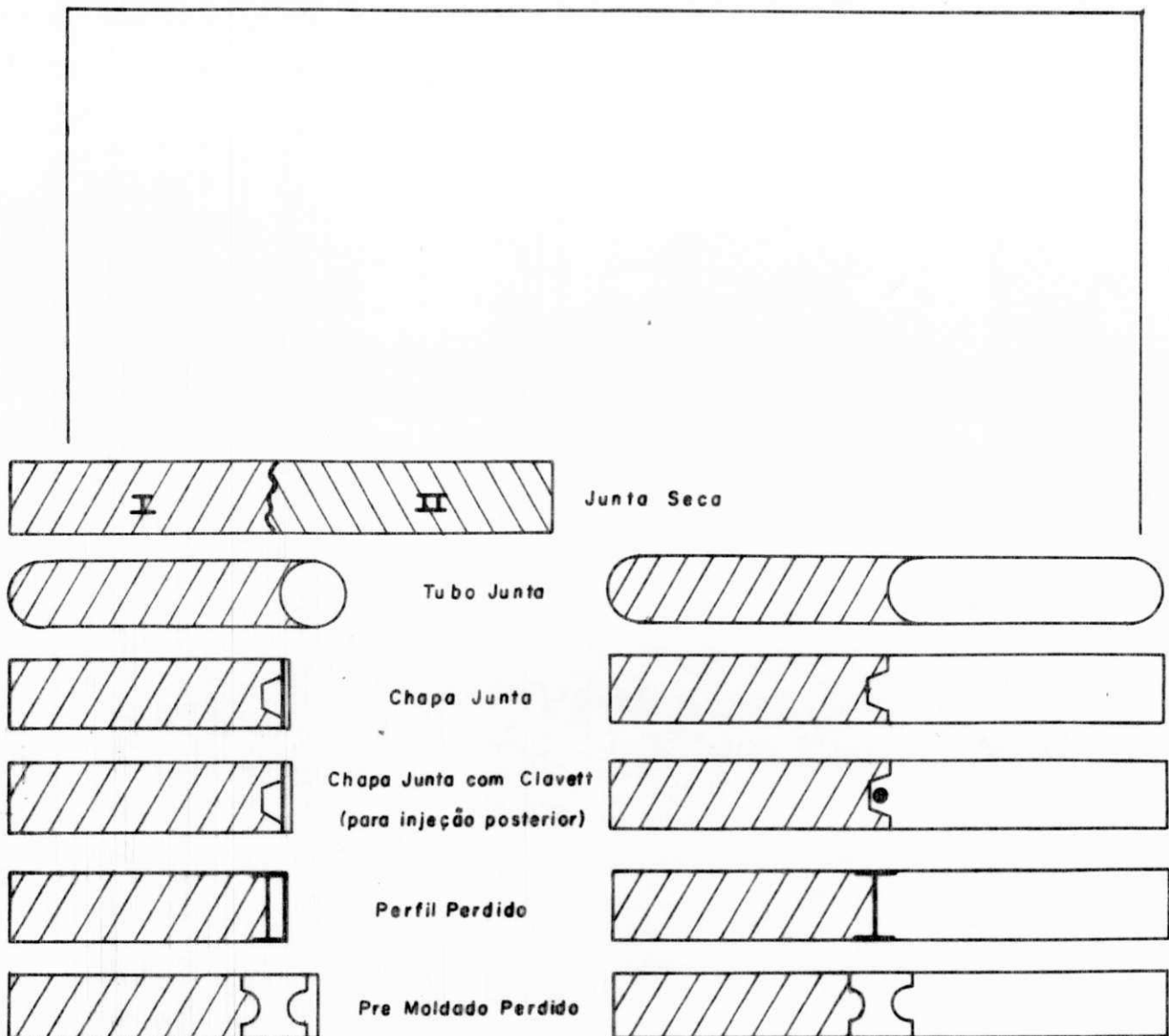


FIGURA 3.21 — TIPOS DE JUNTAS DE CONCRETAGEM UTILIZADAS EM PAREDES DIAFRAGMAS, ANSON S/A (1980).

ESQUEMA DE EXECUÇÃO DE PAREDES "DIAFRAGMA"

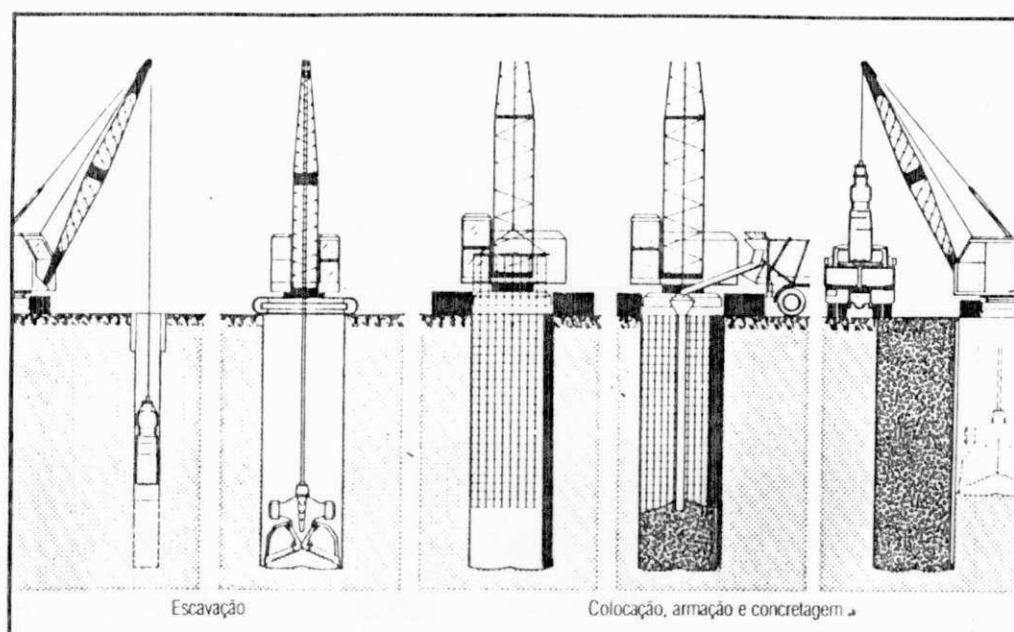
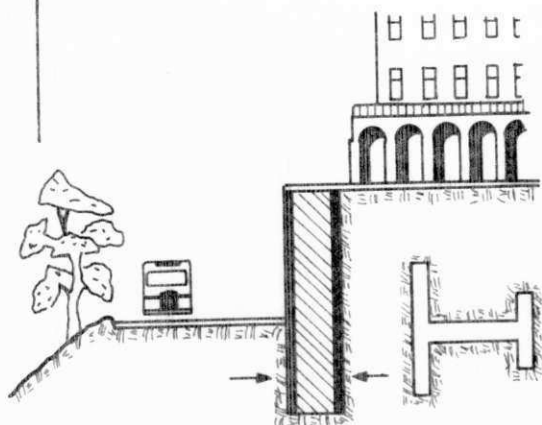
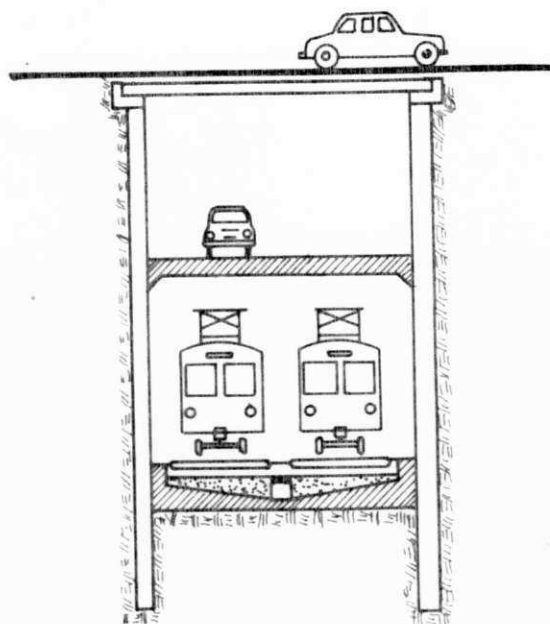


FIGURA-3.22 - Sequência de execução de paredes diafragma, FUNDESP (1987)



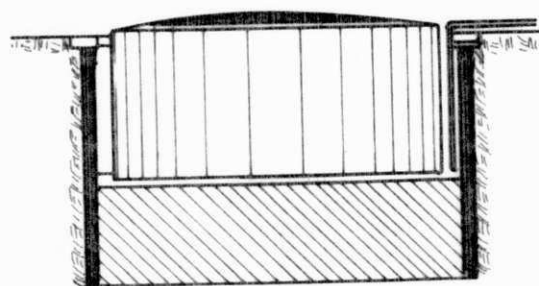
Parede de contenção de terra com
contraforte



Construção subterrânea, metrô,
ferrovia, estacionamento de carros, etc

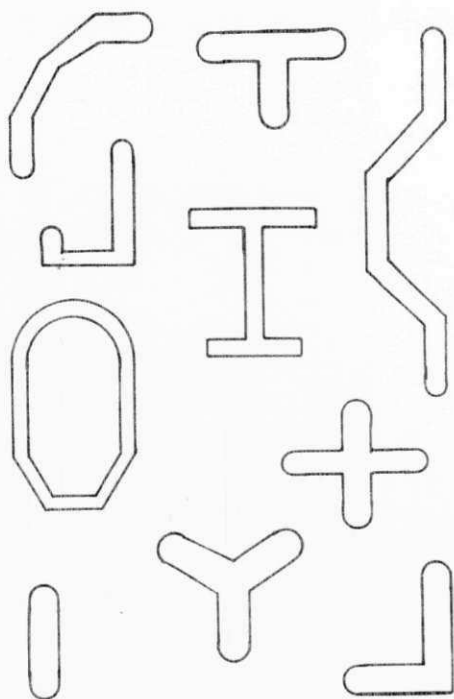


Cut-off para barragens

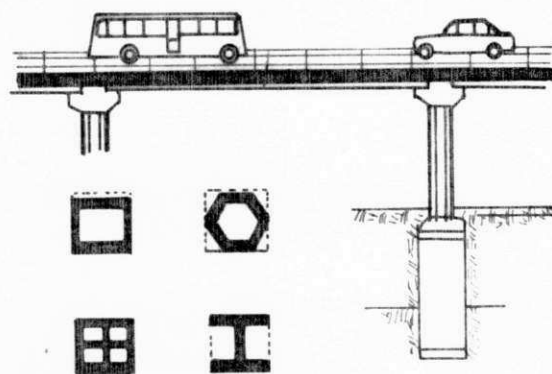


Tanque subterrâneo de armaze-
nagem de gás

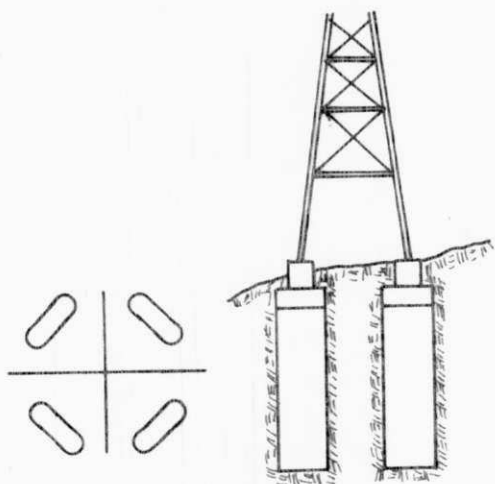
FIGURA 3.23 - ALGUMAS APLICAÇÕES DA PAREDE DIAFRAGMA,
METRÔ (1979).



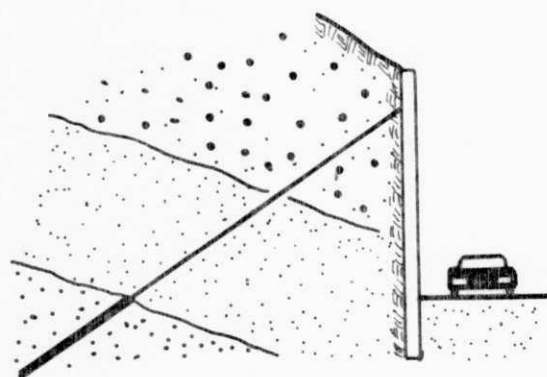
Algumas seções geométricas utilizadas em elementos de fundações



Fundação de pontes e viadutos



Fundação para torre



Muro de arrimo atirantado

FIGURA 3.24 — TIPOS DE PAREDES DIAFRAGMA, METRÔ (1979).

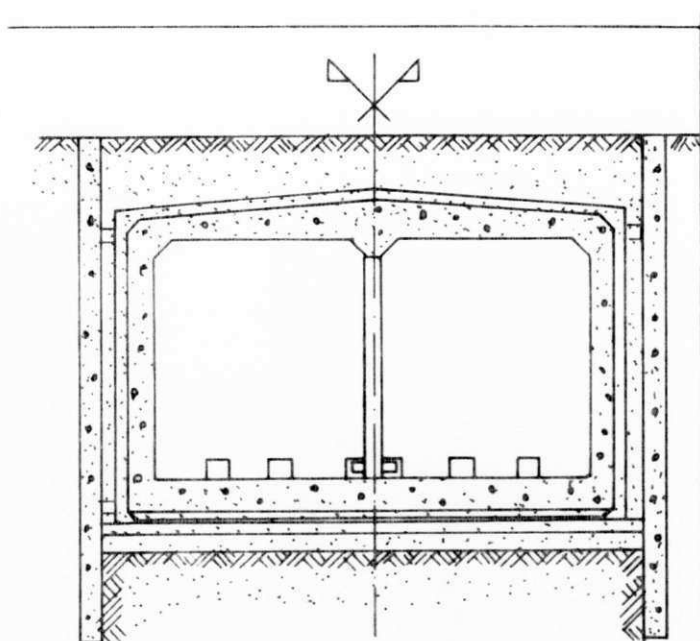


FIGURA 3.25 PAREDE DIAFRAGMA
NÃO INCORPORADA, METRÔ (1979).

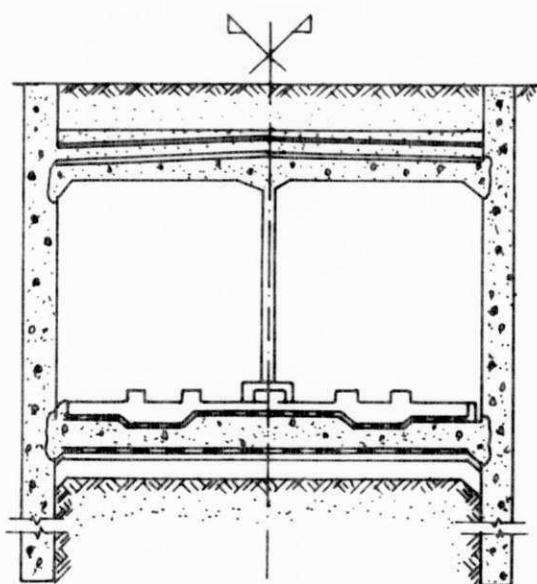
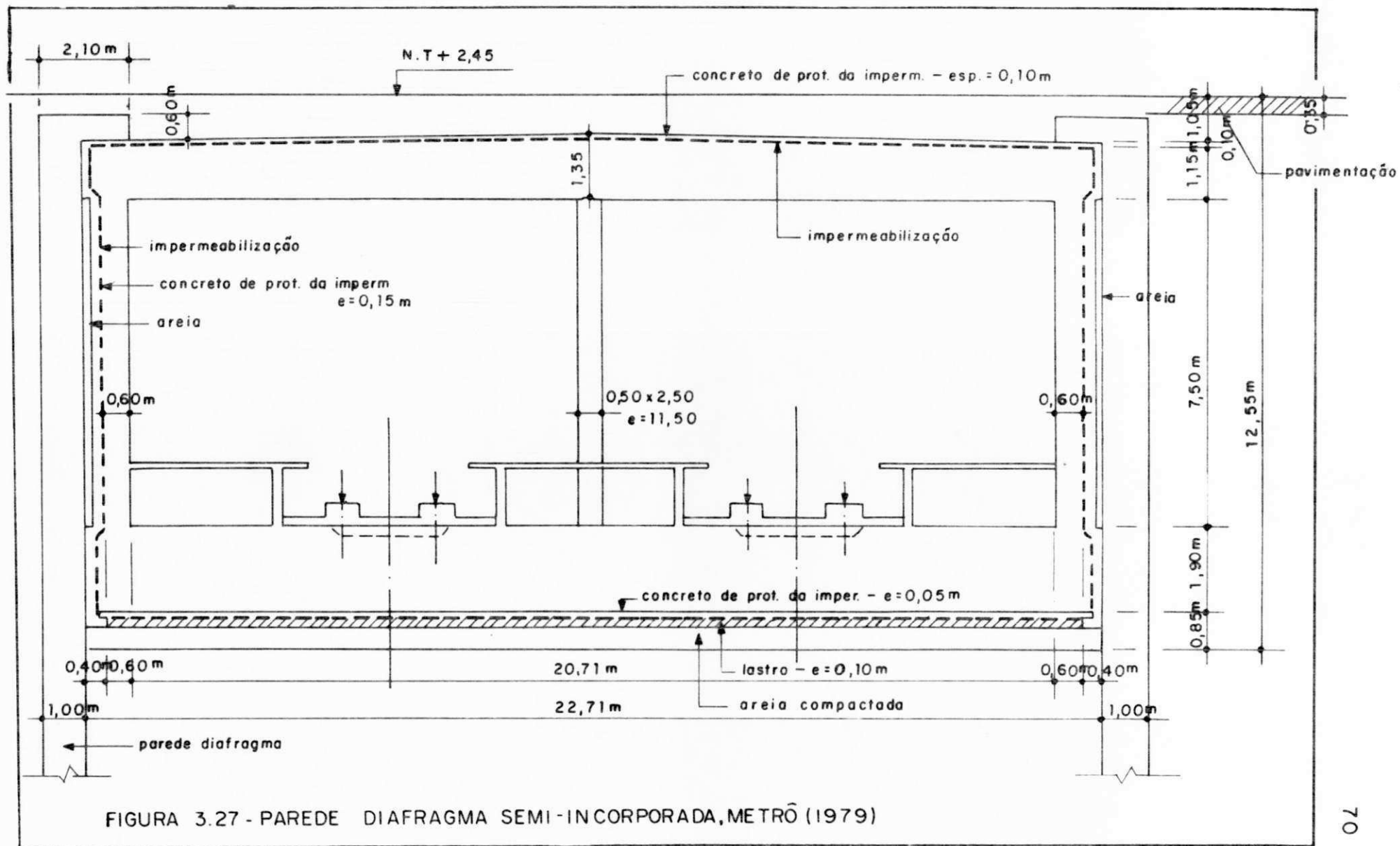


FIGURA 3.26 PAREDE DIAFRAGMA
INCORPORADA, METRÔ (1979).



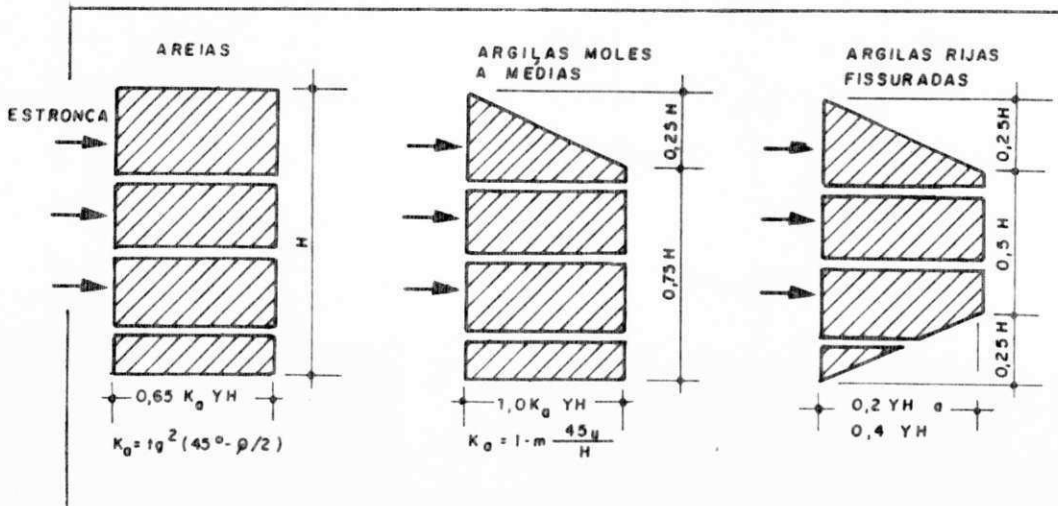


FIGURA 3.28 — DIAGRAMAS DE PRESSÕES PARA CÁLCULO DE CARGAS EM ESTRONCAS (APUD TERZAGHI E PECK, 1967), VELLOSO E LOPES (1976)

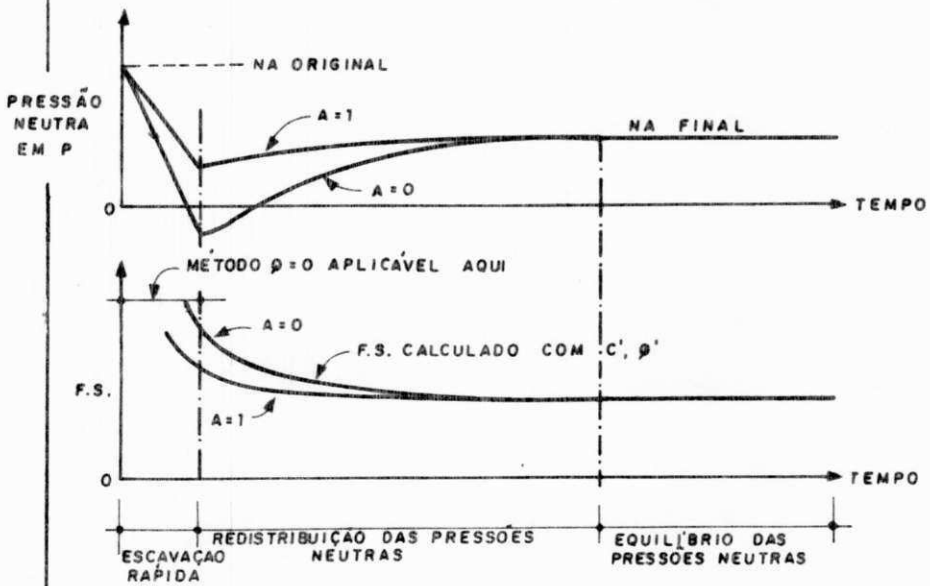
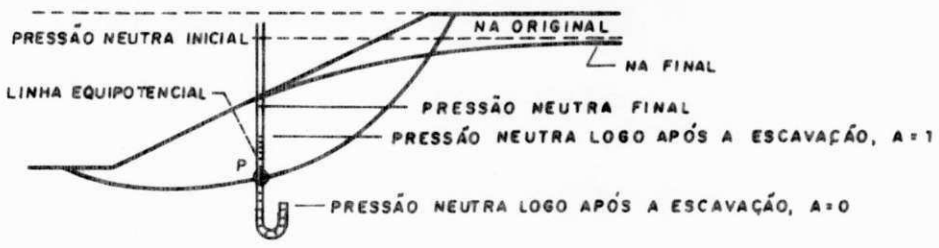
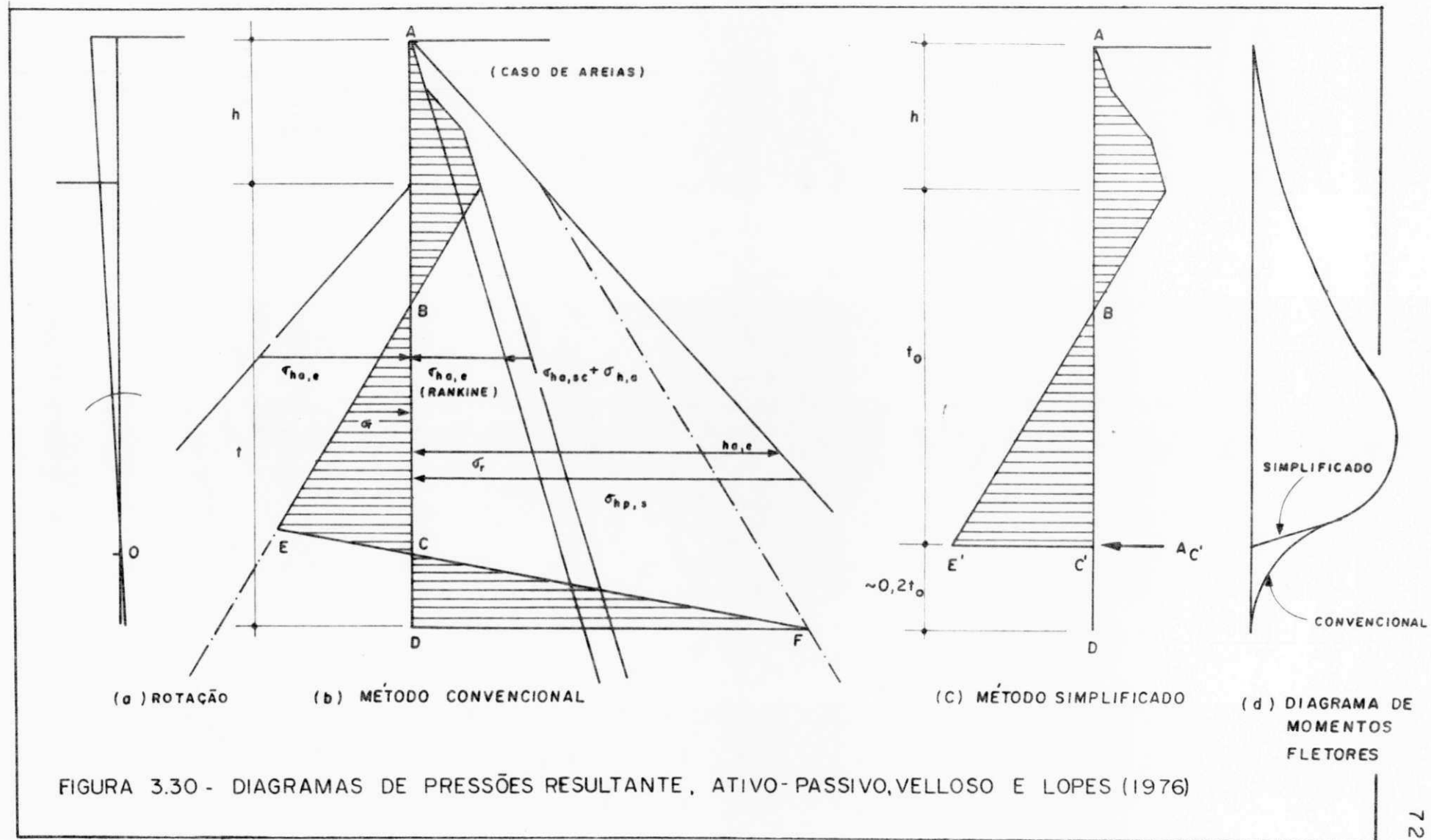


FIGURA 3.29 — VARIAÇÕES NA PRESSÃO NEUTRA E NO FATOR DE SEGURANÇA DURANTE E APÓS UMA ESCAVAÇÃO (AUTOASTÁVEL) EM ARGILA (APUD BISHOP E BJERRUM, 1960), VELLOSO E LOPES (1976)



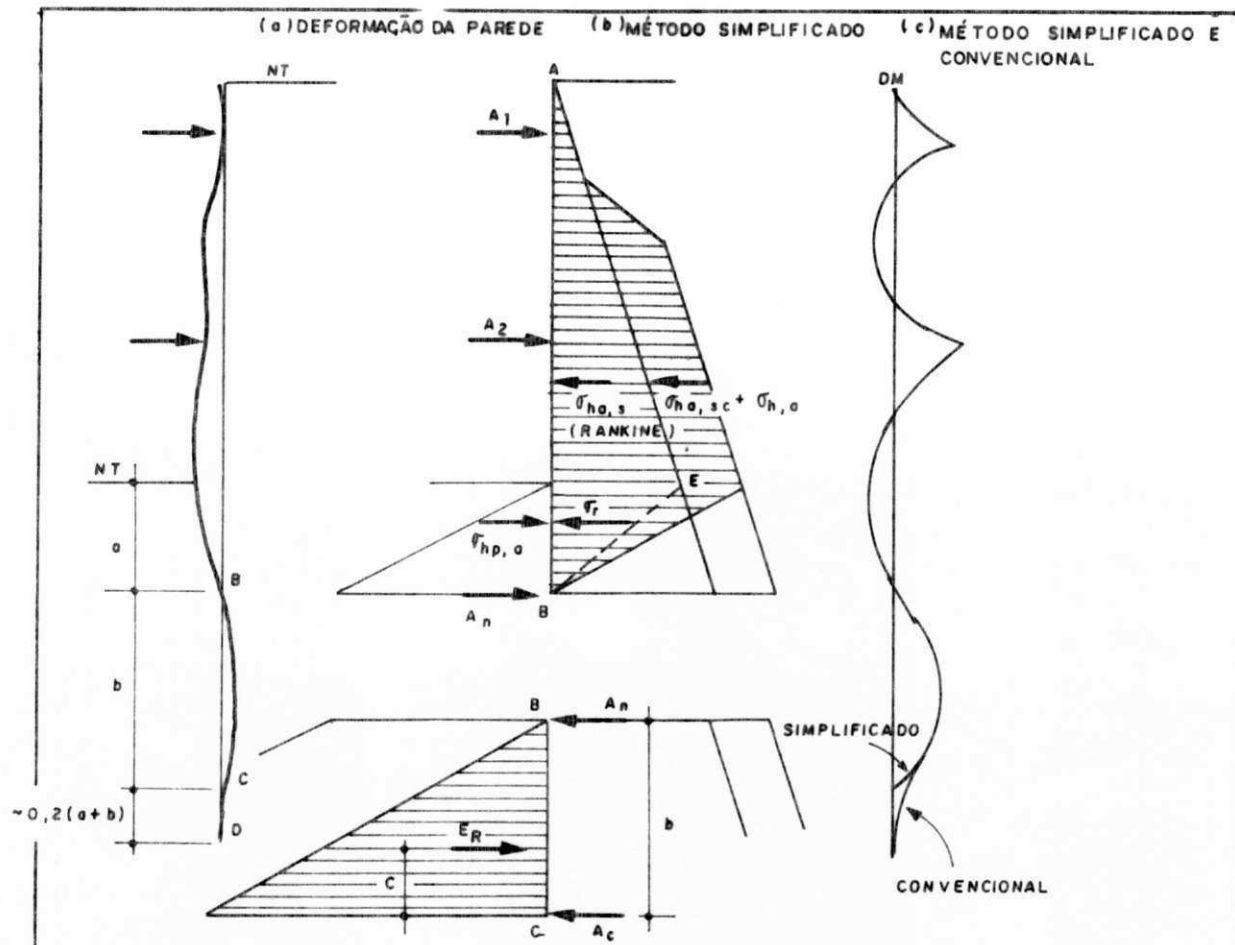


FIGURA 3.31 - DIAGRAMAS DE PRESSÕES PARA O MÉTODO DE CÁLCULO DO APOIO FIXO NO SOLO, VELLOSO E LOPES, (1976).

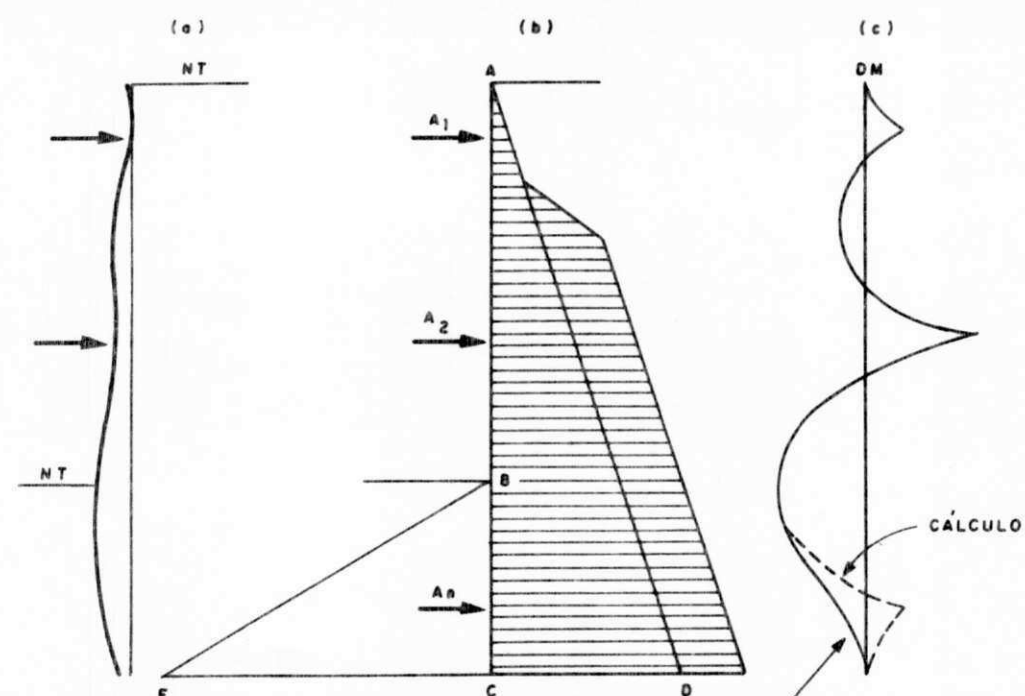


FIGURA 3.32 - DIAGRAMAS DE PRESSÕES PARA O MÉTODO DE CÁLCULO DO APOIO LIVRE NO SOLO, VELLOSO E LOPES, (1976).

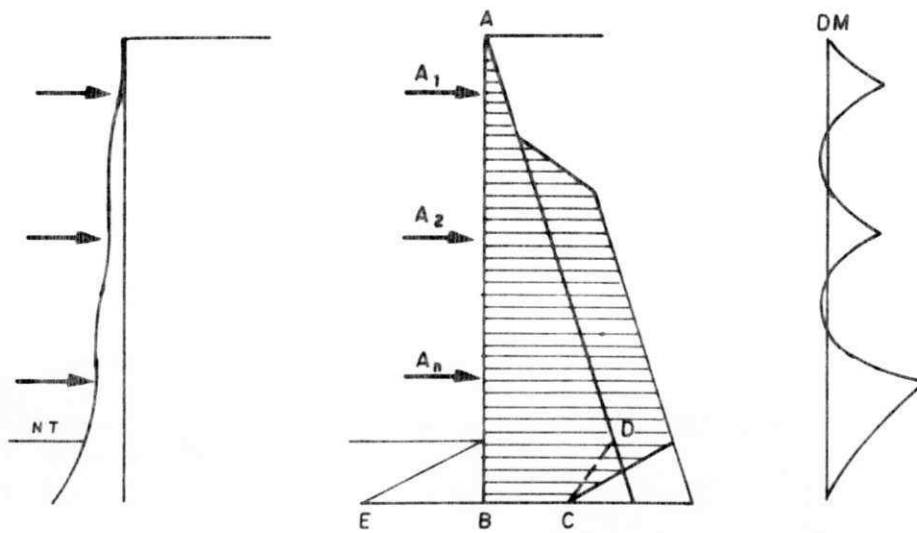


FIGURA 3.33 - DIAGRAMAS DE PRESSÕES, CONSIDERANDO UMA REDUÇÃO NO EMPUXO ATIVO, VELLOSO E LOPES (1976).

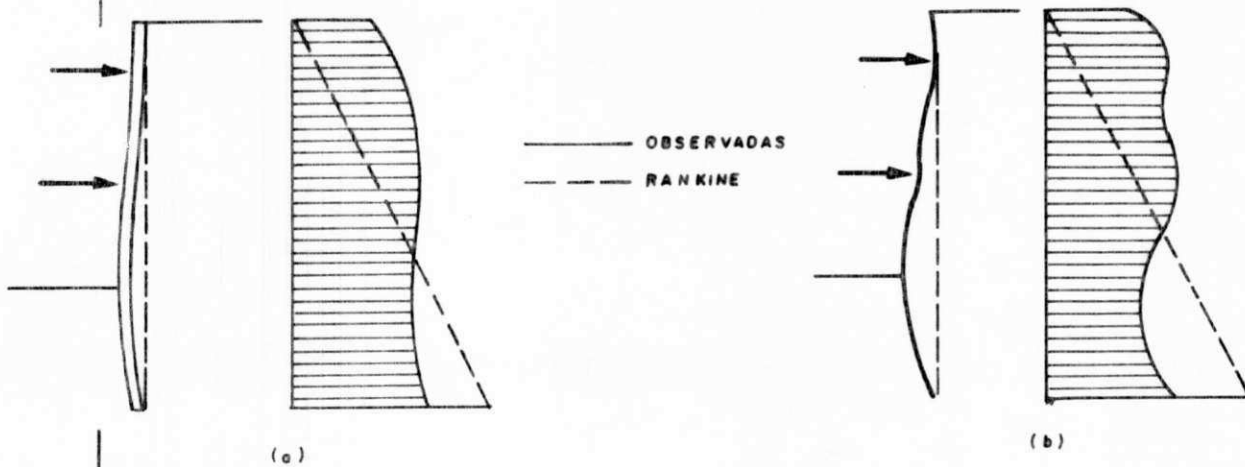
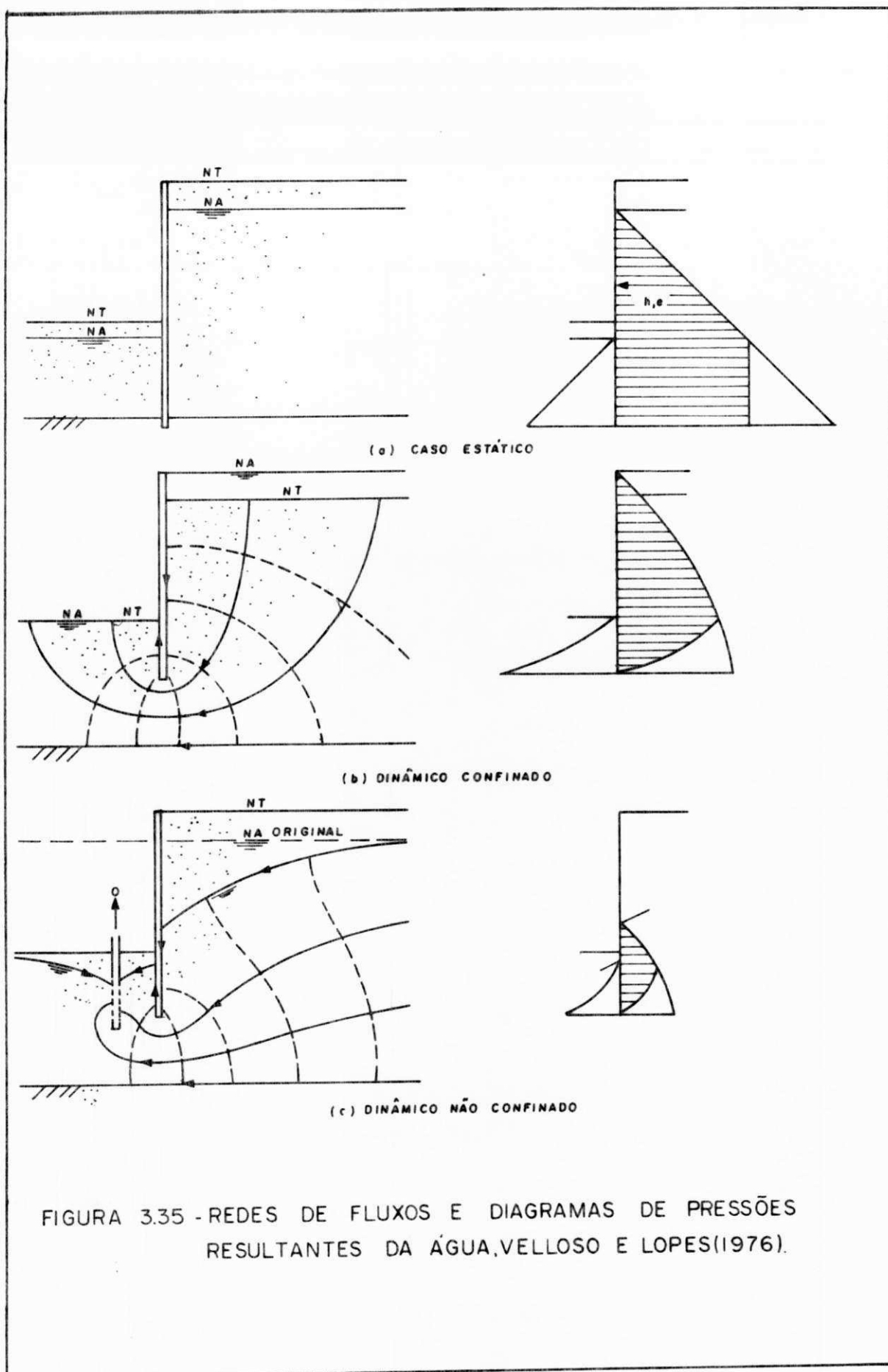


FIGURA 3.34 - DIAGRAMAS DE PRESSÕES SEGUNDO RANKINE E OBSERVADAS EM (a) PAREDES POUCO FLEXÍVEIS (PAREDES DIAFRAGMA) E (b) PAREDES BASTANTE FLEXÍVEIS (CORTINAS DE ESTACAS PRANCHA METÁLICAS), VELLOSO E LOPES (1976).



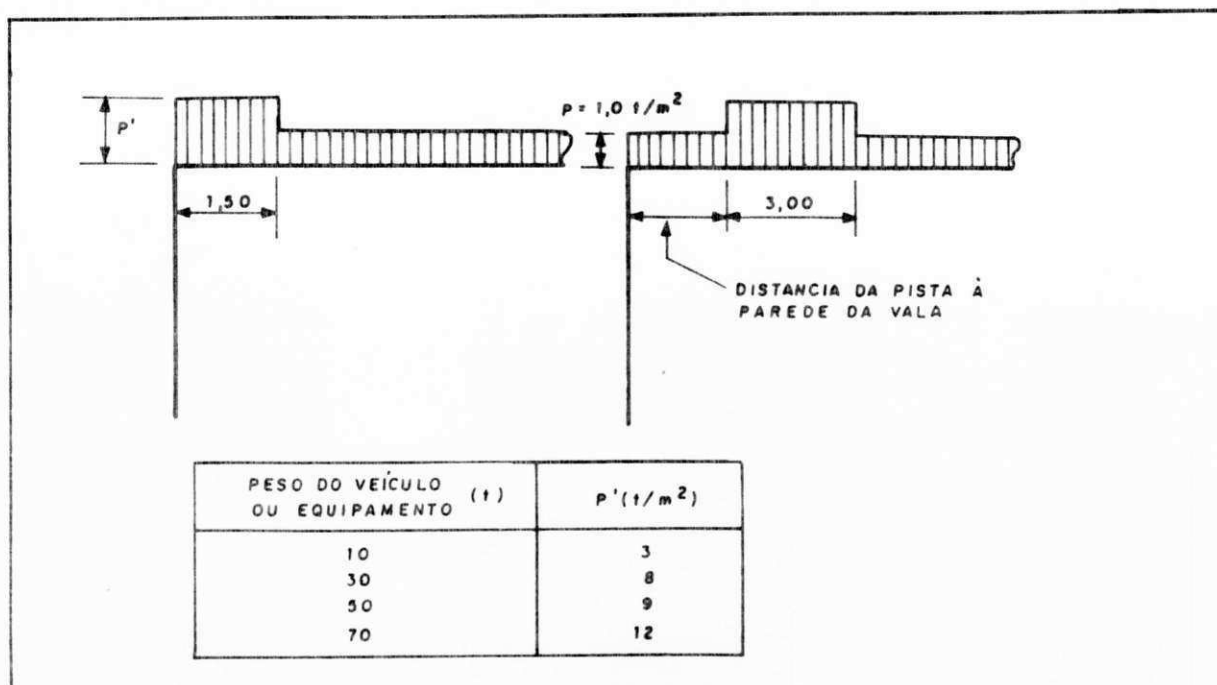


FIGURA 3.36 — VALORES RECOMENDADOS PARA SOBRECARGAS DEVIDAS À OPERAÇÃO DE VEÍCULOS E EQUIPAMENTOS (APUD WEISSENACH, 1970), VELLOSO E LOPES (1976)

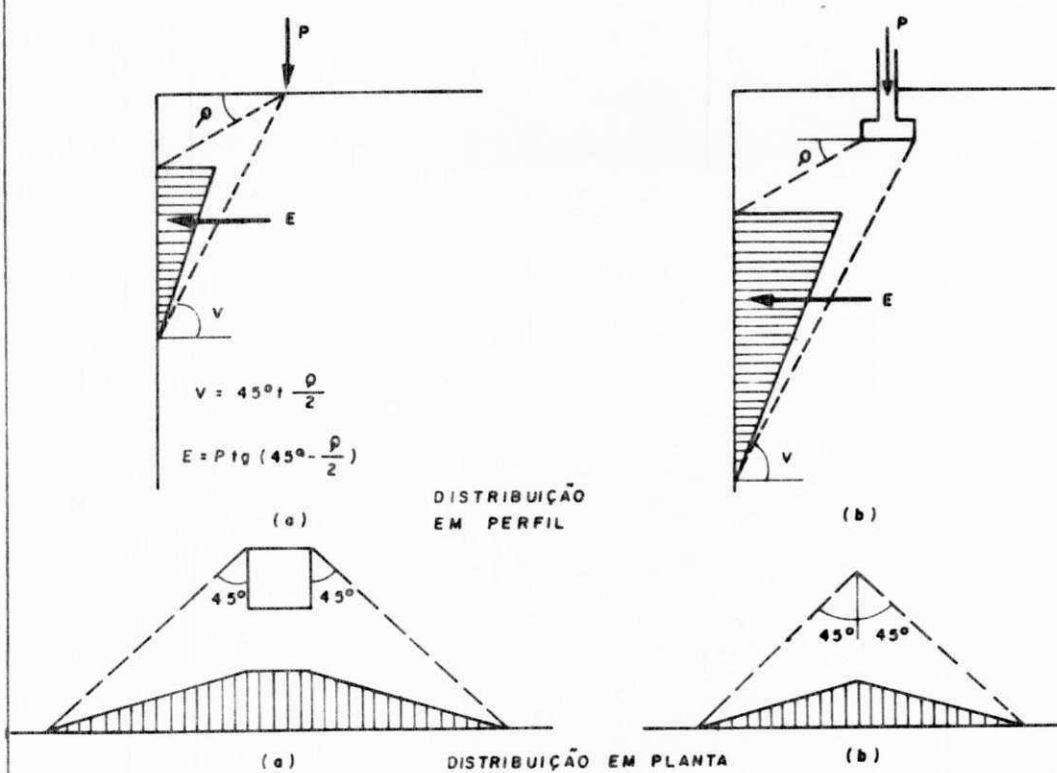
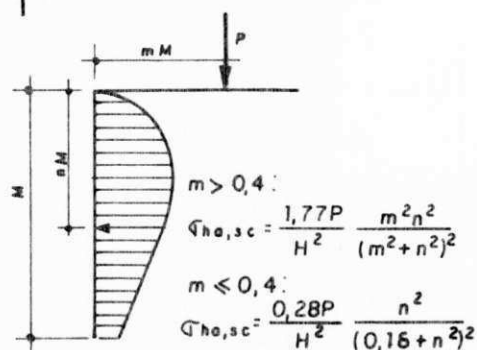
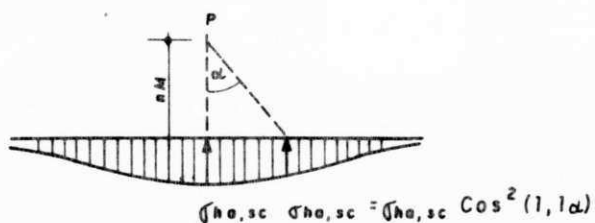


FIGURA 3.37 — DIAGRAMAS DE CARGAS CONCENTRADAS E ÁREAS CARREGADAS. VELLOSO E LOPES (1976).

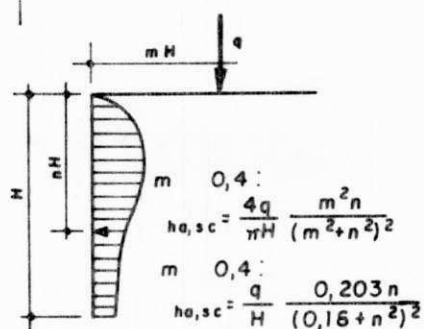


DISTRIBUIÇÃO EM PERFIL

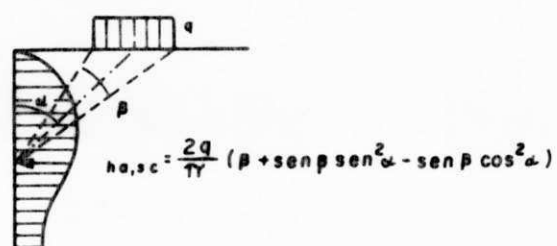


DISTRIBUIÇÃO EM PLANTA

(a) CARGA CONCENTRADA



(b) CARREGAMENTO EM LINHA



(c) CARREGAMENTO EM FAIXA

FIGURA 3.38 - DIAGRAMAS DE CARGAS OBTIDOS POR FÓRMULAS DA TEORIA DA ELASTICIDADE, VELLOSO E LOPES (1976).

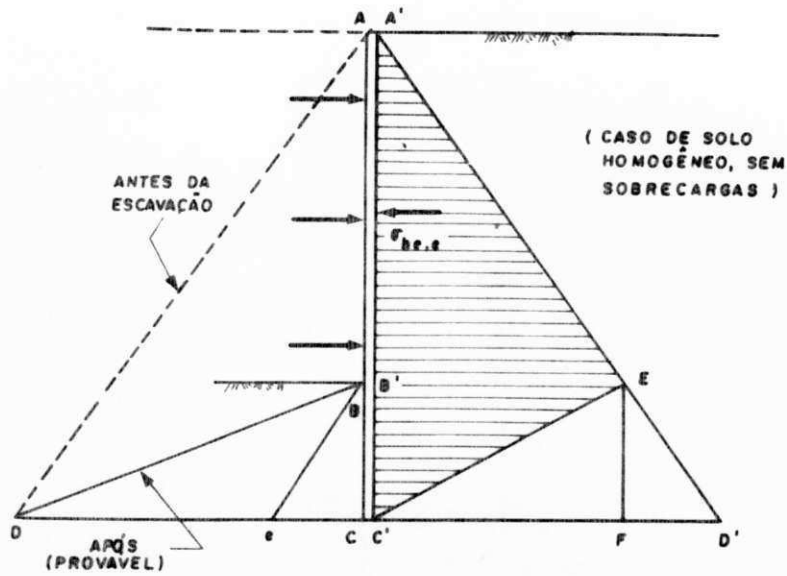


FIGURA 3.40 - DIAGRAMA DE PRESSÃO DO SOLO, ATUANTE APÓS A ESCAVAÇÃO, VELLOSO E LOPES (1976).

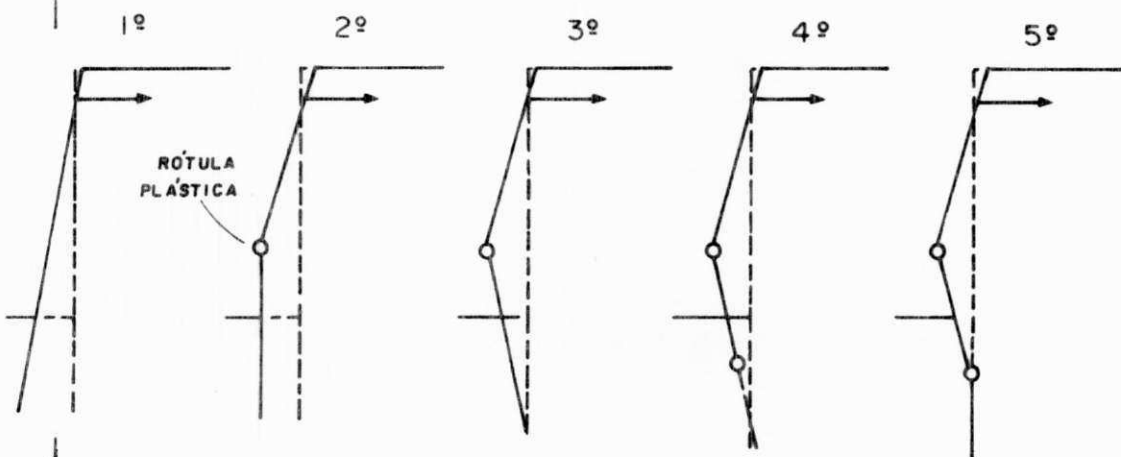
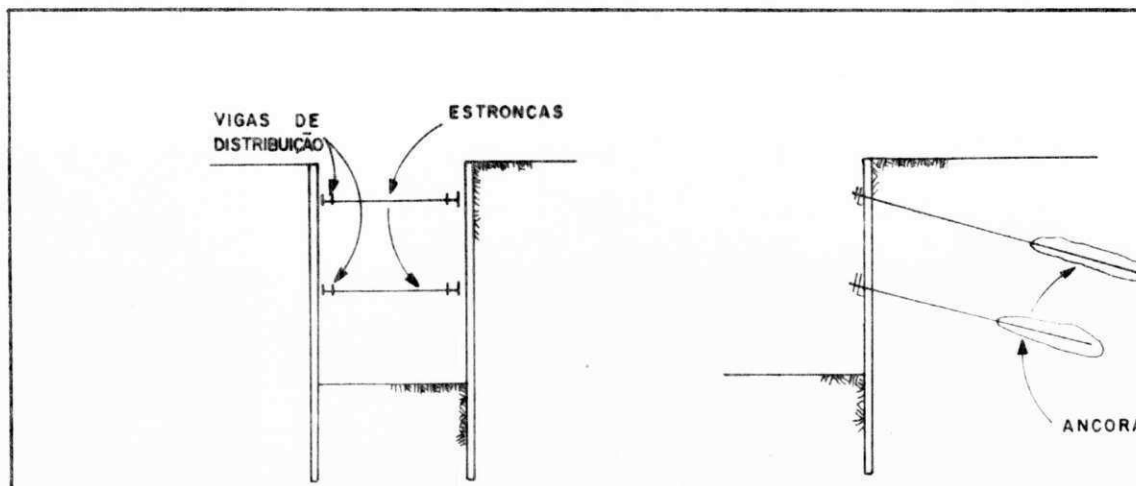
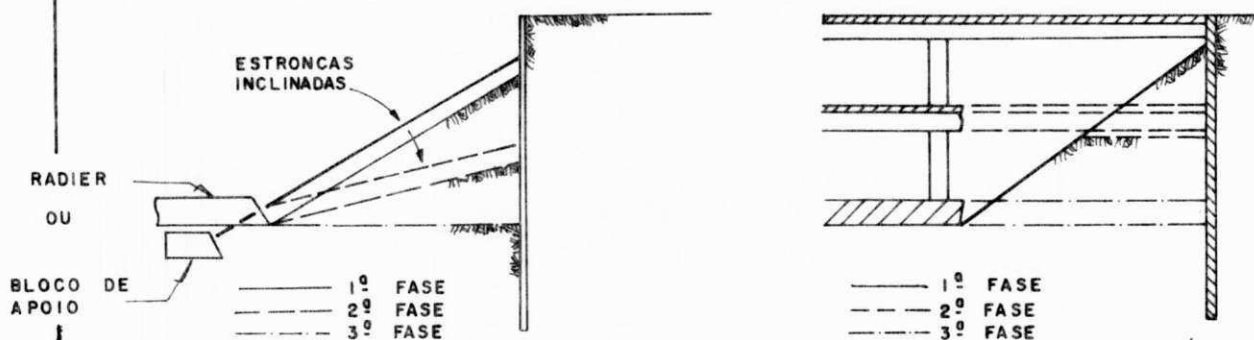


FIGURA 3.39 - CONFIGURAÇÕES DE RUTURA DA ESTRUTURA CONSIDERADA, VELLOSO E LOPES (1976).



(a) ESCORAMENTO DA ESCAVAÇÃO

(b) ANCORAGEM DA ESCAVAÇÃO



(c)

(d)

FIGURA 3.41- TIPOS DE ESCORAMENTO E ANCORAGEM A PARTIR DA TEORIA DE RANKINE, VELLOSO E LOPES (1976)

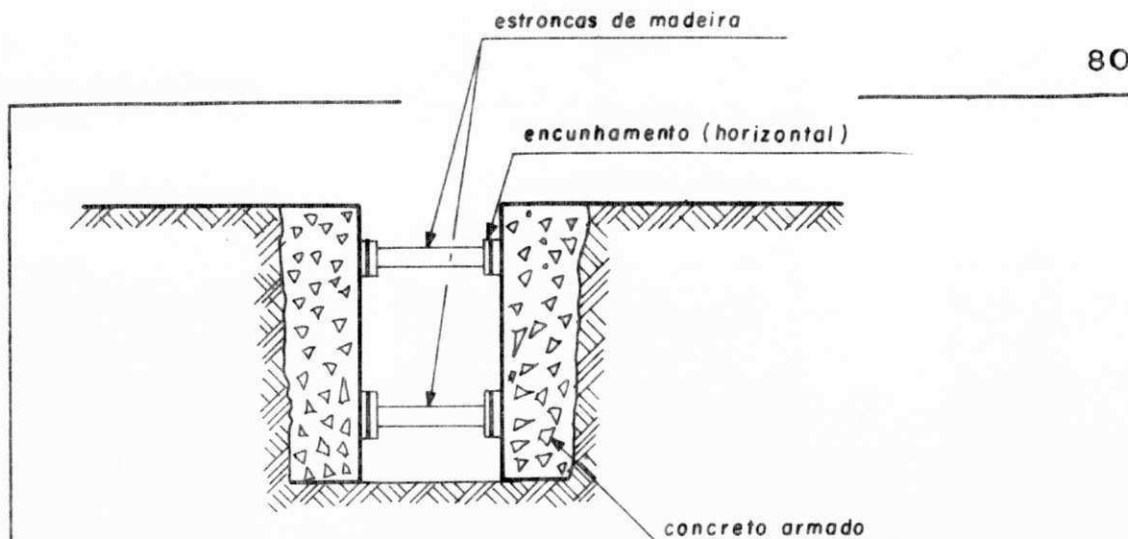


FIGURA 3.42a — PAREDE GUIA EM SOLOS COESIVOS PARA ORIENTAÇÃO E SUPORTE DO CLAMSHELL, METRÔ (1979).

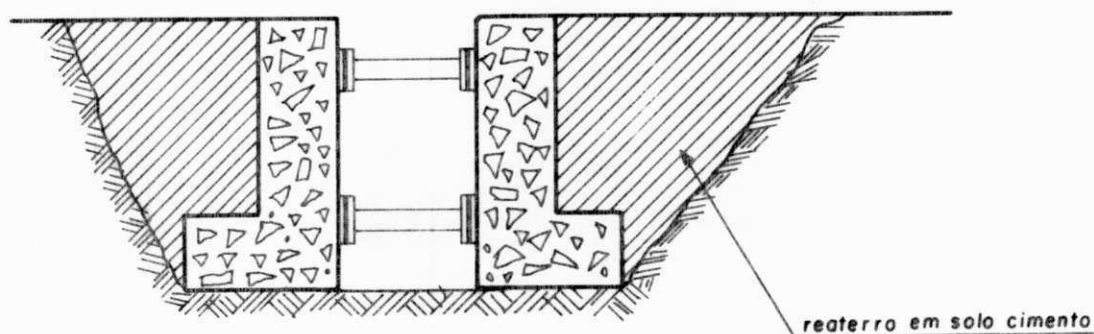


FIGURA 3.42b — PAREDE GUIA PARA SOLOS NÃO COESIVOS EM "L" PARA ORIENTAÇÃO E SUPORTE DO CLAMSHELL, METRÔ (1979).

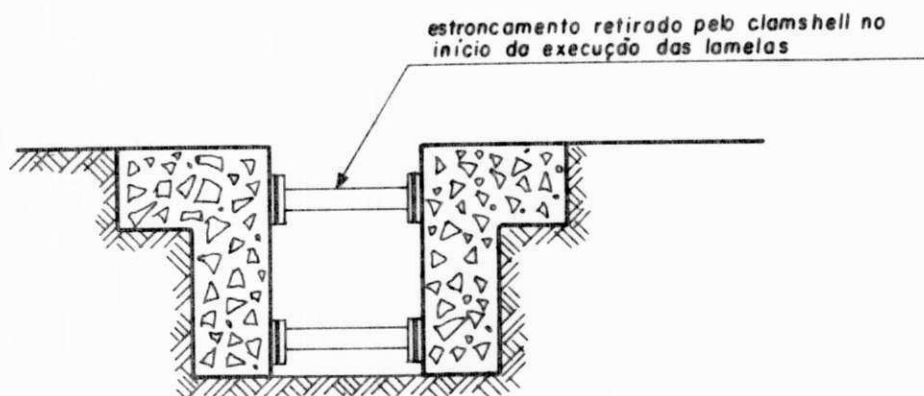
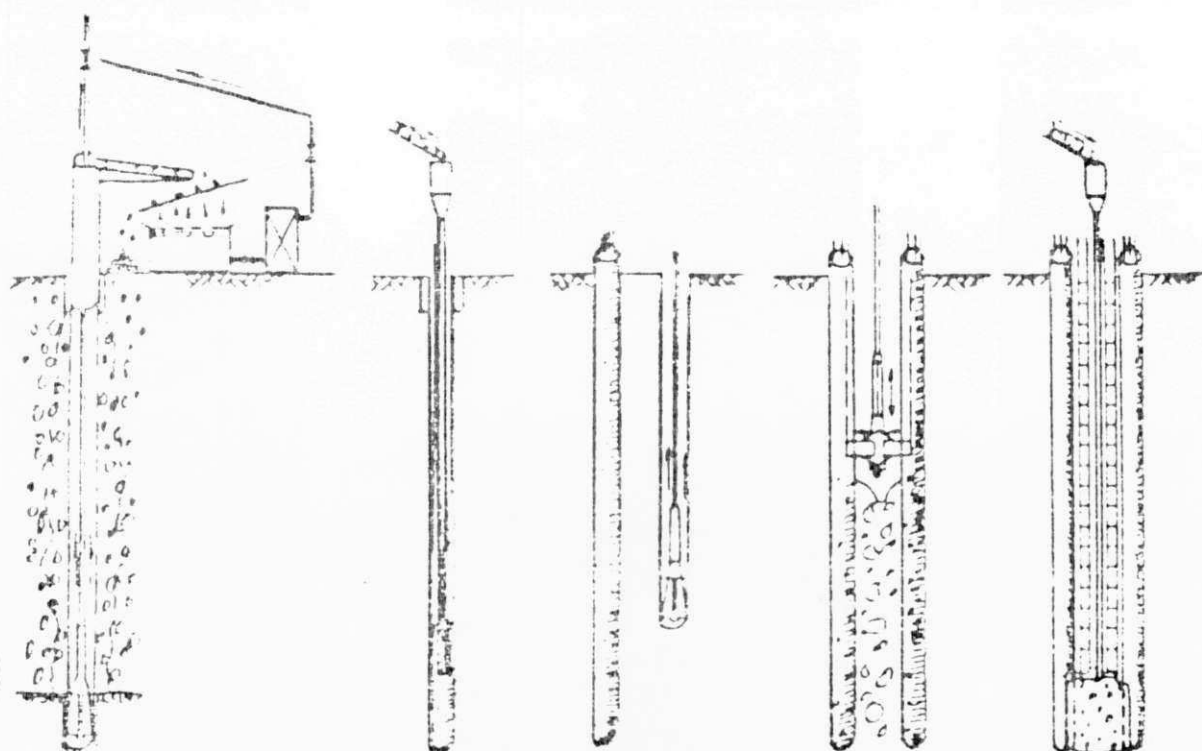


FIGURA 3.42c — PAREDE GUIA EM "L" INVERTIDO PARA ORIENTAÇÃO E SUPORTE DO CLAMSHELL, METRÔ (1979).



FASE 1 FASE 2 FASE 3 FASE 4 FASE 5

Fase nº 1 - Escavação da primeira estaca circular lateral.

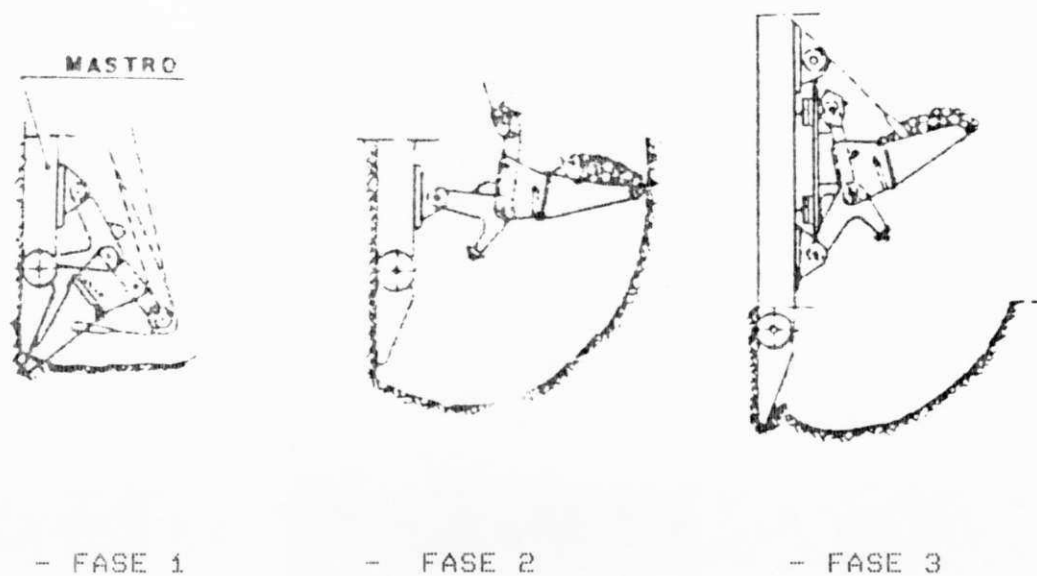
Fase nº 2 - Concretagem da primeira estaca circular lateral

Fase nº 3 - Escavação da segunda estaca circular lateral e concretagem da mesma

Fase nº 4 - Escavação, através de clam-shell especial, do solo entre as estacas

Fase nº 5 - Colocação da armadura e concretagem da região escavada.

FIGURA-3.43 - Um dos primeiros tipos de equipamento de escavação desenvolvido pela indústria I.C.O.S. , METRO, (1979) .



Fase nº 1 - Introdução do mastro na extremidade da lamela.

Fase nº 2 - Cacamba executando o movimento de rotação escavando a lamela.

Fase nº 3 - Retirada do material escavado e descida do mastro.

FIGURA-3.44 - Primeiro equipamento de escavação para parede diafragma desenvolvido pela empresa E.L.S.E., METRO, (1979) .

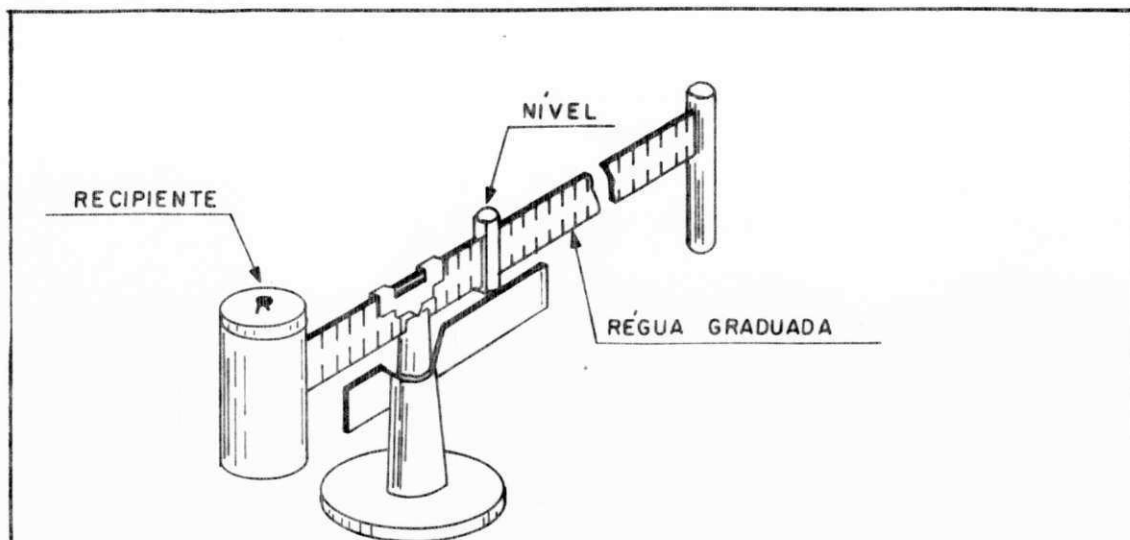


FIGURA 3.45 — "MUD BALANCE" UTILIZADA NO ENSAIO DA DENSIDADE DA SUSPENSÃO BENTONÍTICA, METRÔ (1979).

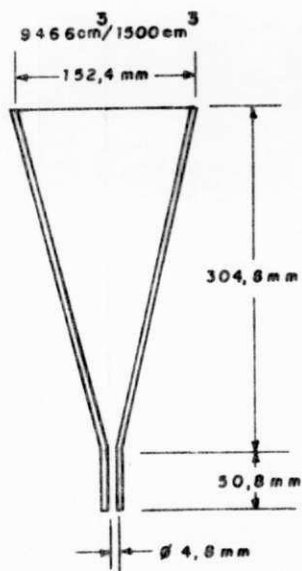


FIGURA 3.46 — VISCOSIMETRO MARSH UTILIZADO NO ENSAIO DA VISCOSIDADE DA SUSPENSÃO BENTONÍTICA, METRÔ (1979).

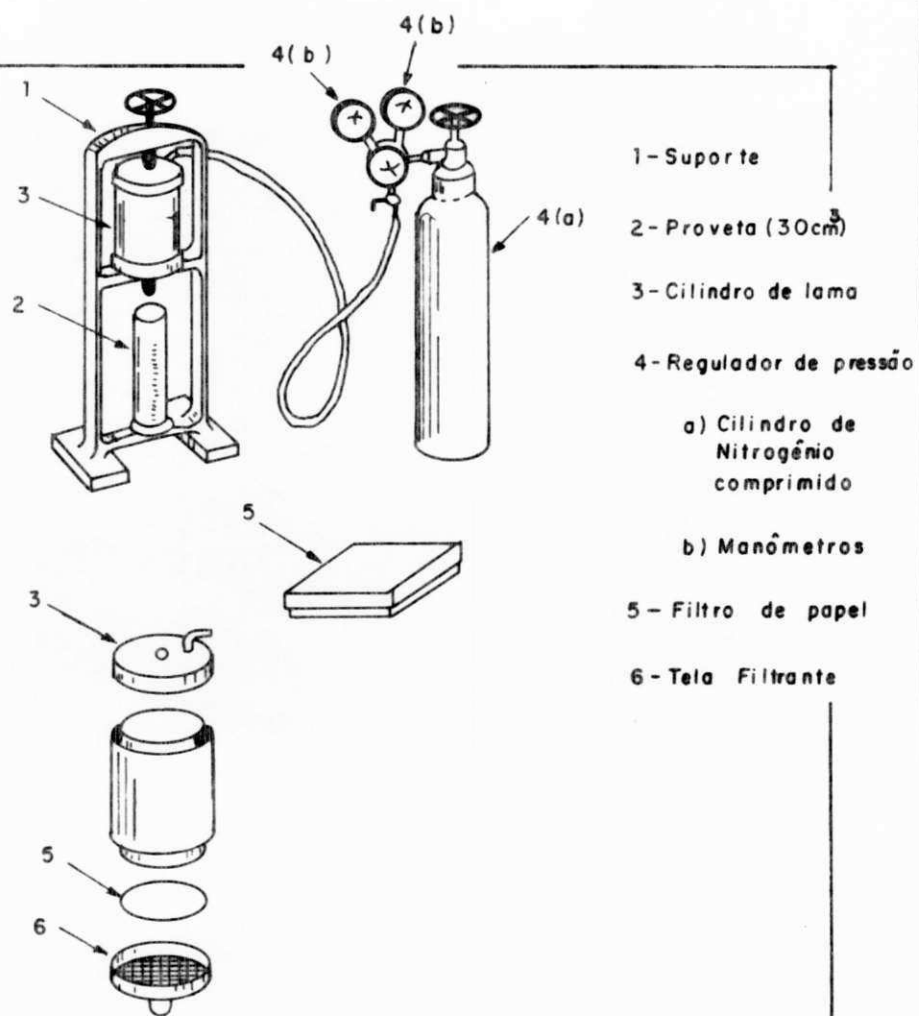


FIGURA 3.47 — EQUIPAMENTO UTILIZADO NO ENSAIO DO CAKE E FILTRADO DA SUSPENSÃO BENTONÍTICA, METRÔ(1979).

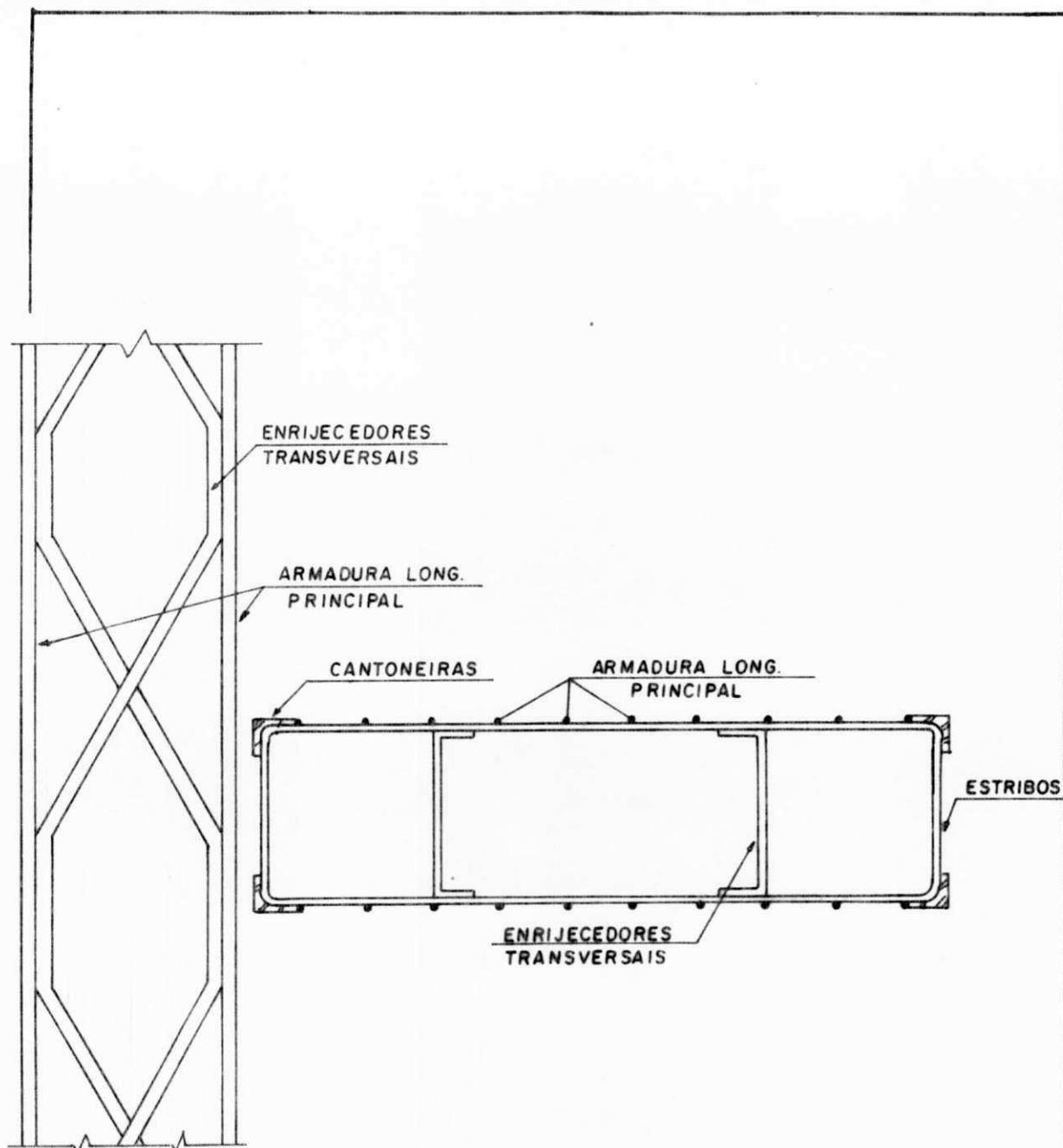


FIGURA 3.48- ENRIJECEDORES TRANSVERSAIS E CANTONEIRAS PARA GARANTIR O ENRIJECIMENTO DA GAIOLA, UTILIZADA EM ARMAÇÃO DA PAREDE DIAFRAGMA, METRÔ (1979).

O canal de ligação, tem forma trapezoidal e duas estruturas de controle de vazão nas extremidades. Estas estruturas são constituídas por soleiras espessas e dissipadores para absorver as vazões em um ou outro sentido. O canal é protegido por enrocamento, com três fileiras de placas de concreto, apoiadas numa base de concreto poroso moldada in situ. Entre todas essas proteções e o solo natural, existem transições drenantes de seixos arenosos complementados por brita no caso do enrocamento.

O sangradouro é constituído de um canal de acesso revestido com enrocamento até 30 m à montante do vertedouro. Este é de soleira livre, com perfil greager, canal de queda livre e bacia de dissipação tipo III do Bureau. As lajes do canal de queda e da bacia de dissipação são munidas de "dentes" penetrando no solo e de um sistema de drenagem interno com areia e concreto poroso, com tubos coletores com três saídas de cada lado da estrutura.

A tomada d'água, em cada barragem, é constituída por uma torre de concreto armado com um só nível de captação, uma casa com uma ponte rolante, uma comporta, uma stop-log, uma viga pescadora, uma galeria para passagem e manutenção da tubulação, e uma casa de comando da válvula.

As obras foram iniciadas em princípio de 1985 e concluídas no final de 1989. Hoje (1992), as barragens estão cheias com seu nível d'água variando entre as cotas 32,00 1,00 no período seco e 35,00 no período chuvoso, já tendo inclusive ocorrido sua primeira e segunda sangrias em agosto de 1990 e 1991 respectivamente.

Ambas as válvulas dispersoras permanecem abertas, para mais ou para menos, dependendo do período chuvoso e da necessidade de utilização da água pelo sistema de captação e abastecimento Gramame/Mamuaba.

Apresenta-se a seguir o QUADRO DE QUANTITATIVOS e FOTOGRAFIAS do canal de interligação, tomada d'água (montante e jusante), maciço de gramame e sangradouro, (FOTO-4.1 , FOTO-4.2 , FOTO-4.3 , FOTO-4.4 , FOTO-4.5 , FOTO-4.6 e FOTO-4.7) .

QUADRO DE QUANTITATIVOS DO SISTEMA GRAMAME/MAMUABA

BARRAGENS	GRAMAME	MAMUABA	SISTEMA
Município onde localizam	ALHANDRA	ALHANDRA	ALHANDRA
Capacidade (m ³)	30.707.000	26.231.000	56.934.000
Vazão regularização (m ³ /s)	0,96	1,07	2,03
Volume de terra (m ³)	1.030.000	1.269.000	2.299.000
área b.hidrográfica(Km ²)	121,20	136,30	257,50
área bacia hidráulica (Ha)	454,00	486,00	940,00
Extensão dos rios (m)	4150	4800	8950
Precipitação a. média (mm)	1.800	1.800	1.800
Vol. efluente médio (m ³ /s)	2,30	1,89	4,19
Extensão do coroamento (m)	640,00	620,00	1.260,00
Alt. da seção máxima (m)	23,00	26,00	----
Largura do coroamento (m)	6,00	6,00	6,00
Cota do coroamento (m)	40,00	40,00	40,00
Largura máxima da base (m)	170,00	180,00	----
Talude de montante	1:3	1:3	----
Talude de jusante	1:2	1:2	----
Proteção dos taludes	enr./grama	enr./grama	----
Revanche (m)	1,00	1,00	1,00
SANGRADOURO			
Largura (m)	50,00	----	50,00
Lâmina máxima sangria (m)	3,50	----	3,50
Descarga máxima (m ³ /s)	4,19	----	4,19
Vazão regularização (m ³ /s)	0,25	----	0,25
CANAL DE INTERLIGAÇÃO			
Taludes	----	----	1 : 2
Extensão (m)	----	----	800,00
Vazão (m ³ /s)	----	----	335.000
Cota do fundo (m)	----	----	27,00
TOMADA D'ÁGUA			
Seção das galerias (m x m)	3,00x2,00	3,00x3,00	----
Extensão das galerias(m)	159,40	156,36	315,76
Seção das torres(m x m)	4,30x4,75	4,30x4,75	----
Altura das torres (m)	24,30	24,30	24,30
PAREDES DIAFRAGMAS			
Extensão (m)	679,03	608,72	1.287,75

FONTE: PARAÍBA, (1978) E TECNOSAN S.A., (1989)

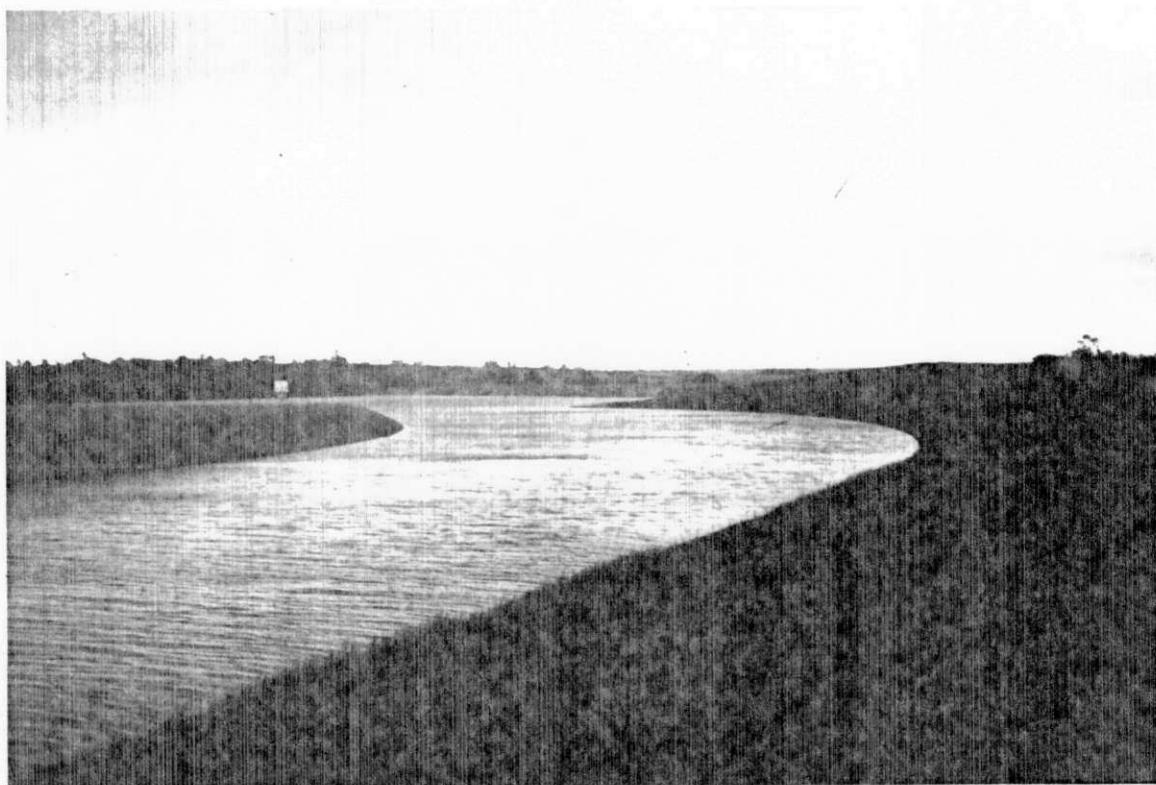


FOTO-4.1 - Vista do canal de interligação cheio, sentido Mamuaba Gramame, PEREIRA HENRIQUES, J.L. 1990



FOTO-4.2 - Vista do canal de interligação cheio, sentido Gramame Mamuaba, PEREIRA HENRIQUES, J.L. 1991

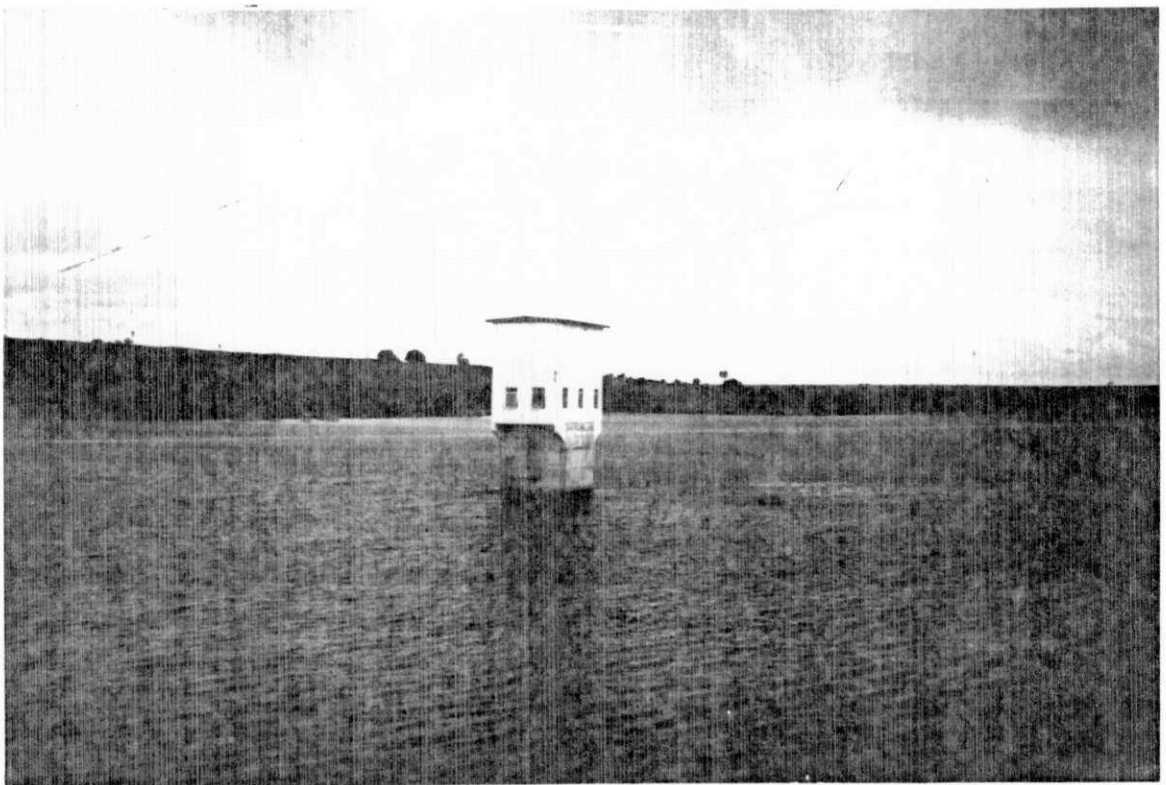


FOTO-4.3 - Tomada d'água: torre de concreto com casa de comando e trena para marcação do nível d'água, PEREIRA HENRIQUES, J.L. (1990).

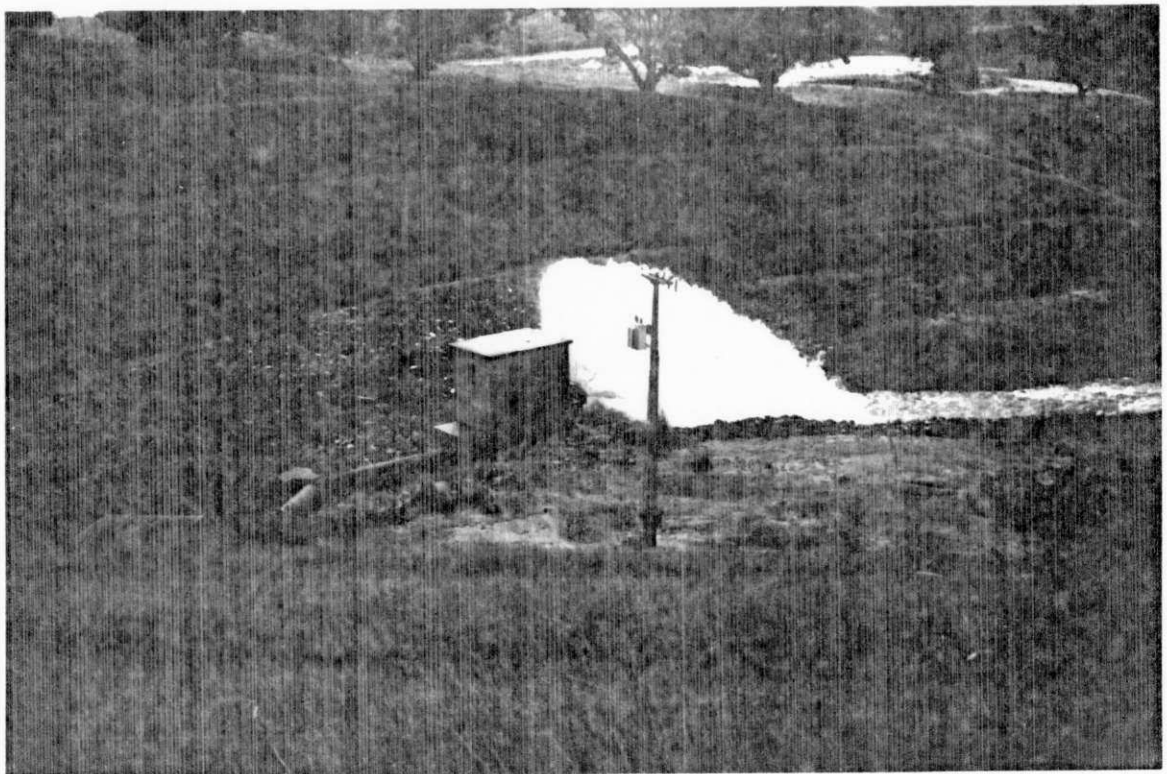


FOTO-4.4 - Tomada d'água: tubulação e casa de comando da válvula dispersora, PEREIRA HENRIQUES, J.L. (1990)

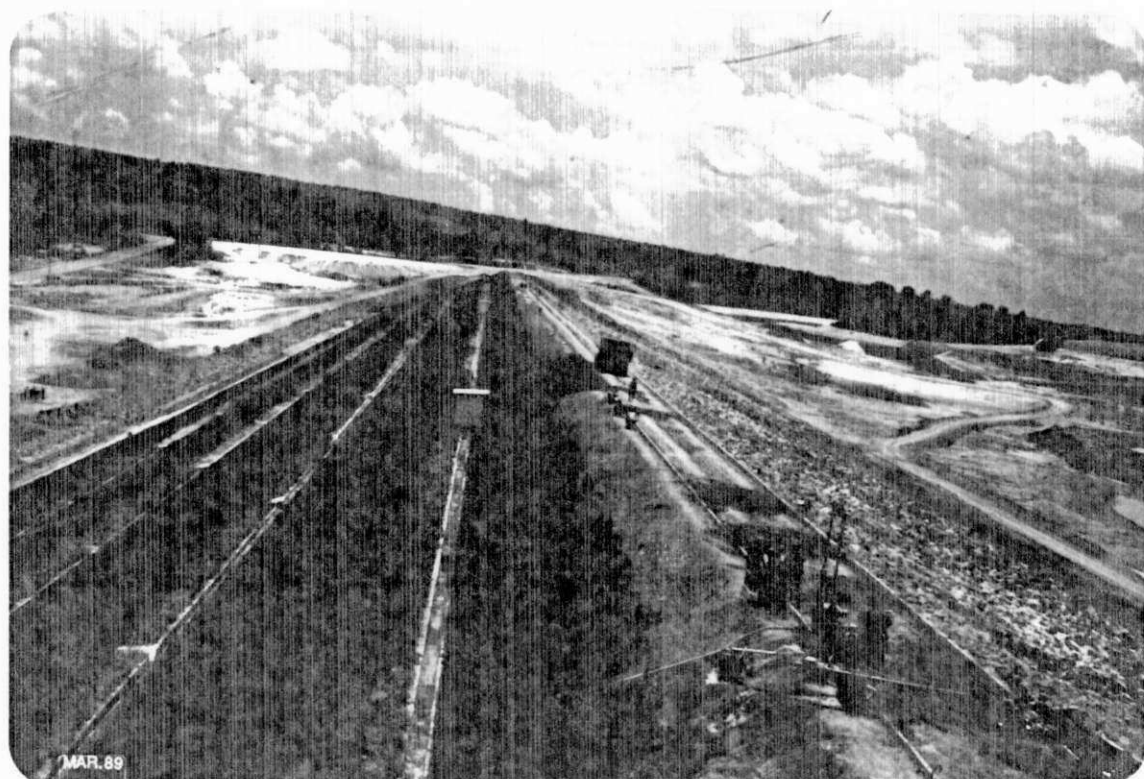


FOTO-4.5 - Barragem do Gramame em fase de conclusão, onde mostra a perfuração de um dos piezômetros Casagrande, PEREIRA HENRIQUES, J. L. (1989) .

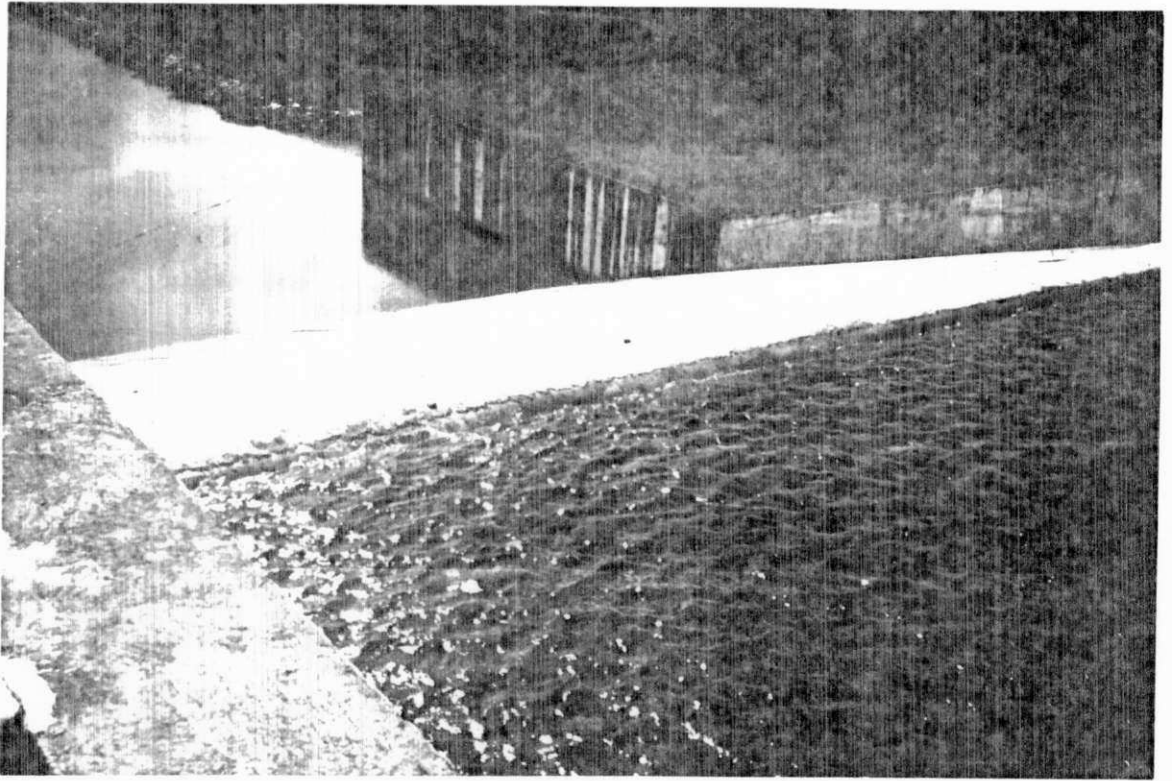


FOTO-4.6 - Sangradouro: vertedouro em queda livre, bacia de dissipação a montante e jusante, PEREIRA HENRIQUES, J.L. (1990).

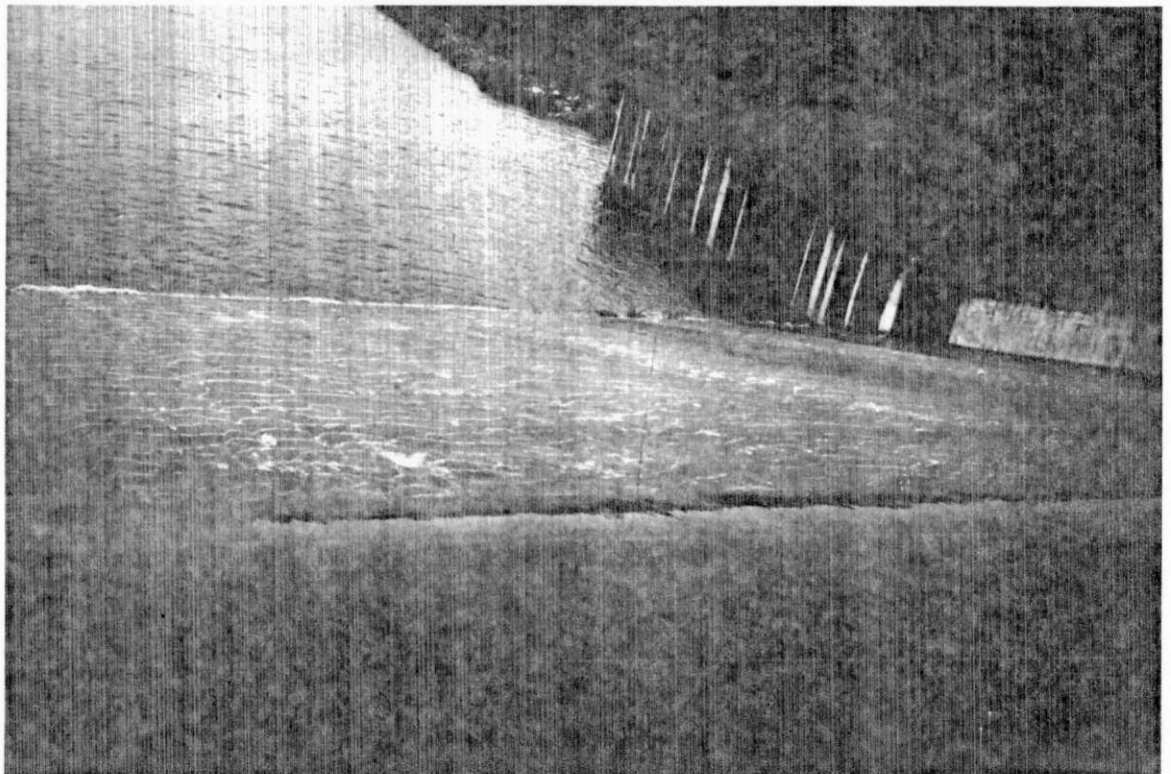


FOTO-4.7 - Sangradouro: vertedouro em perfil greager e drenagem interna, PEREIRA HENRIQUES, J. L. (1991).

4.4- Geologia

A geologia regional é constituída por uma série de unidades lito-estratigráficas, de idades distintas, pertencentes aos períodos, PRÉ-CAMBRIANO, MESOZÓICO, TERCIÁRIO E QUATERNÁRIO.

O pré-cambriano é constituído por uma sequência metassedimentar tendo por embasamento um complexo migmatítico-granítico, de grande diversidade litológica onde são nítidas duas sequências metassedimentares, separadas por um horizonte quartzítico fino e descontínuo, inicial do desenvolvimento superior.

O mesozóico está representado pelas formações beberibe/itamaracá e pela formação gramame.

A formação beberibe é litologicamente constituída de uma sequência arenosa, com espessura máxima de 200 m, contendo arenitos friáveis cinzentos e cremes, mal relacionados, em cuja base predominam leitos arenosos grosseiros, localmente conglomeráticos, com intercalações de níveis argilosos e camadas siltsosas.

A formação gramame é constituída por calcários finos, cinzentos e calcários arenosos, margas, argilitos e folhelhos associados a sedimentos fosfatados que ocorrem na base da formação. Na porção inferior, os calcários são dolomíticos, ficando mais puros quando se alcança o topo desta unidade.

Os sedimentos terciários, estão representados pela formação maria farinha, pelo grupo barreiras e por intrusões de rochas básicas que atravessaram as rochas do complexo gnaíssico-nigmático. A formação maria farinha é constituída por calcários detríticos, cinzentos pouco puros e argilosos, com intercalações de níveis argilosos. O grupo barreiras é essencialmente arenoso, com arenitos de matriz argilosa pouco consolidadas. As intrusões que ocorrem em uma fase pré-barreiras são formadas por diques de diabásio e basalto.

O quaternário, corresponde a cobertura coluvial, aluvial, depósito de praia e aluviões.

Da coluna estratigráfica regional, afloram na área estudada, no eixo e nos reservatórios das barragens, rochas do pré-cambriano, da formação beberibe/itamaracá, da formação barreiras e sedimentos quaternários de origem aluvionar.

O pré-cambriano ocorre na bacia hidrográfica, algumas vezes capeando por delgadas camadas de sedimentos da formação barreiras.

A formação beberibe/itamaracá aflora no vale dos rios, ocupando as cotas mais baixas, em toda a extensão que corresponde aos eixos estudados e aos reservatórios das duas barragens. É constituída por um pacote sedimentar onde predomina a fração areia, ocorrendo pequenas camadas argilosas intercaladas em seu perfil. Os arenitos são de um modo geral mal selecionados, quartzosos, com uma granulometria que varia desde seixos até argila, podendo-se apresentar bastante cimentados ou friáveis, sendo o cimento de natureza argilosa silicosa e/ou carbonática.

A formação barreiras, aflora em maior área nas bacias dos rios Gramame e Mamuaba. Ocupa as cotas superiores, formando um relevo do tipo "tabuleiro", repousando ora diretamente sobre o embasamento cristalino ora sobre a formação beberibe/itamaracá. Sua litologia é basicamente constituída por arenitos variegados cor de cinza a esbranquiçado, amarelo avermelhado, finos a grosseiros mal selecionados sub-angulares a sub-arredondados, quartzosos, feldspáticos em parte, pouco micáceos, argilosos, caulínicos, raramente ferruginosos com intercalações da limonita, apresentando frequentemente estratificações cruzadas. Apresenta também, conglomerados, folhelhos, siltitos e argilitos intercalados no perfil.

Os sedimentos quaternários ocorrem nas proximidades da calha fluvial dos rios Gramame e Mamuaba, fornecendo um relevo suave, sobreposto à formação beberibe/itamaracá. São depósitos pouco consolidados constituídos por camadas de areia, argila e níveis grosseiros (seixos). As areias são quartzosas, apresentam cores esbranquiçadas e amareladas, sub-angulares a sub-arredondadas, micáceas, argilosas e caulínicas. As argilas ocorrem em leitos cor cinza intercalada em um perfil onde predomina a fração areia. Os níveis de seixos arredondados a sub-angulares com diâmetro de até 2 cm ocorrem como pequenas lentes intercaladas no perfil dos depósitos aluviais. Em alguns poços de inspeção abertos nesta litologia e nos barrancos escavados na calha fluvial, diagnosticou-se a presença de seixos, ora ocorrendo com

pequenas camadas grosseiras dentro do perfil arenoso do depósito aluvionar com espessura variando entre 2 a 10 cm, ora embebidos em camadas arenosas de granulação fina à média.

4.5- Descrição das Barragens

4.5.1- No Geral

Tanto a barragem do Gramame, como a barragem do Mamuaba, estão assentes sobre um solo aluvionar, composto por uma areia média à grossa, argilosa, pedregulhosa, pouco a mediamente compacta, de cor predominantemente amarela-clara, com alta permeabilidade. Por este motivo, adotou-se para impermeabilização da fundação, um septo em concreto armado rígido, parede diafragma, apoiada sobre uma camada de arenito muito compacta, e a parte superior dentro do tapete impermeabilizante de cada barragem.

A captação d'água das linhas de percolação das duas barragens, é feita através de um filtro vertical, em areia, que conduz a um dreno horizontal (tapete) em material granular, formado por uma mistura de brita e seixo com areia, conforme TABELA N.º 3 a seguir. Na extremidade desse tapete, foi construído um dreno de pé que devolve essa água aos leitos dos rios.

O contato das barragens junto às ombreiras, ocorre em cotas onde não mais aparecem os materiais permeáveis existentes no leito dos rios, aflorando próximo a superfície. Na ombreira esquerda de Mamuaba, o diafragma foi substituído por uma trincheira de vedação parcialmente penetrante e poços de alívio com diâmetro de 50 cm, formado por tubos coletor de PVC rígido grosso, com diâmetro de 100 mm e revestido com tela de nylon número 200, e o restante do espaço preenchido por seixos. Os poços são espaçados por 5 m.

Os solos utilizados no corpo das barragens, foram retirados da escavação do canal de interligação, e de uma outra jazida localizada ao lado deste. Estes solos foram caracterizados pelo laboratório da obra, como apresentados na TABELA N.º 4 seguinte.

TABELA Nº 3

VALORES MÉDIOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO E COMPACTAÇÃO DAS JAZIDAS EXPLORADAS PARA USO NOS TAPETES E FILTROS DAS BARRAGENS GRAMAME/MAMUABA, PARAIBA (1978), E RELATÓRIOS DE ESTUDOS GEOTÉCNICOS (1986).

Peneiras	GRANULOMETRIA										Permeabilidade de k cm/seg	Densidade		Grau de Compac- cidade %	W _{ot} %
	Local de explo- ração e aplicação	50.8	25.4	19.1	9.5	4.8	2.4	1.2	0.6	0.3		0.15	γ campo kg/cm ³		
Extramil tapete drenante	100	100	93 a 100	81 a 97	65 a 76	49 a 62	37 a 52	24 a 41	13 a 22	5 a 9.2	6.5 x 10 ⁻²	1950 a 2030	1840 a 1880	50 a 70	8.0 a 10.6
Areial do Valdo Filtro Vertical	100	100	100	100	96 a 100	88 a 94	78 a 86	58 a 72	18 a 44	2 a 13	x10 ⁻³	2109 a 2248	1950 a 2100	90 a 100	9.2 a 11.0

TABELA Nº 4

VALORES MÉDIOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO E COMPACTAÇÃO DAS JAZIDAS EXPLORADAS PARA USO

DOS MACIÇOS DAS BARRAGENS GRAMAME/MAMUABA, PARAIBA (1978) E RELATÓRIOS DE ESTUDOS GEOTÉCNICOS (1986).

LOCAL DE EXPLORAÇÃO E FINALIDADE DO ESTUDO	CARACTERIZAÇÃO									CLARIFICAÇÃO UNIFICADA	COMPACTAÇÃO			PERMEABILIDADE	
	GRANULOMETRIA						LL %	LP %	IP %		WOT %	γ _s MAX kg/m ³	GC %	KV cm/s	Kh cm/s
	3/4"	3/8"	4	10	40	200									
CANAL DE INTERLIGAÇÃO APLICADO NOS MACIÇOS - TIPO A		100	90.3	83.5	51.8	18.3	31.6	17.7	13.9		9.8	2004	96	1.5 a 7.3	2.7 a 7.6
	100	99.6	99.4	95.5	65.7	30.1	25.3	15.2	10.1	SC	9.3	1942	100	x10 ⁻⁶	x10 ⁻⁶
AO LADO DO CANAL DE INTERLIGAÇÃO APLICADO NOS MACIÇOS - TIPO A			99.0	95.0	61.0	29.0	26.9	14.8	12.1		10.4	2005	96	1.5 a 7.3	2.7 a 7.6
	100	100	97.0	89.0	63.0	21.0	25.1	14.0	11.1	SC	10.2	1982	105	x10 ⁻⁶	x10 ⁻⁶
AO LADO DO CANAL ARGILA PLÁSTICA TOPO DA PAREDE DIAFRAGMA - TIPO B	-	-	-	-	-	-	44.4 50.6	-	19.0 28.7	-	-	-	-	-	-

OBS.: Os materiais utilizados no corpo das barragens foram classificados pelo laboratório da obra, como sendo de 3 tipos: A, B e C. O tipo A é o apresentado acima, utilizado a montante das barragens. O tipo C, que apresentou valores iguais e inferiores ao do tipo A, foi utilizado a jusante das barragens. O tipo B, argila plástica foi utilizado no topo da parede diafragma.

O tipo A apresentou nos ensaios triaxiais CD, valores de $\phi = 34.4$ e $C' = 18$ KPa, enquanto os valores adotados nos estudos de estabilidade para o projeto foram de $\phi = 30$ e $C' = 20$ KPa.

4.5.2- Na Fundação.

O subsolo onde se localiza o eixo das barragens, no vale dos rios, é constituído por um material rochoso pouco consolidado. Sua litologia é predominantemente arenosa com maior ou menor concentração de argila e silte, ocorrendo camadas de argila e argilas arenosas, geralmente sob forma de lentes e, em alguns trechos, níveis com uma grande concentração de seixos. Nas sondagens que penetraram este material, ele mostrou-se bastante friável e intemperizado.

As características geológicas e geotécnicas destes materiais indicaram de um modo amplo, os seguintes comportamentos: a) o material foi facilmente removível por meios mecânicos, não sendo necessário utilizar-se explosivo na sua escavação; b) os ensaios de SPT indicaram, valores que normalmente cresceram com a profundidade. Estes ensaios revelaram que o material rochoso pouco consolidado apresentou boas condições de suporte para as estruturas auxiliares; c) os furos de sondagens executados neste material evidenciaram a presença do nível d'água em cotas relativamente próximas a superfície, 1,50 a 3,00 m; d) a permeabilidade média obtida, foi da ordem de 10^{-4} cm/s em 167 ensaios de permeabilidade in situ, realizadas nesta litologia.

4.6- Parede Diafragma Implantada no Sistema Gramame/Mamuaba

As fundações das barragens Gramame e Mamuaba no vale dos rios de mesmo nome, são constituídas de materiais aluvionares compostos de camadas de areias finas, médias e grossas com pedregulhos. Estes materiais, comprometeriam seriamente a estanqueidade do reservatório, provocando perdas elevadas pelas fundações. Tal quadro impôs a adoção de um septo impermeabilizante em ambas as barragens.

Adotou-se então a solução de parede diafragma de concreto armado, atavessando totalmente as camadas permeáveis das várzeas dos rios Gramame e Mamuaba, até a camada de arenito existente sob ela.

Na base da parede, foram executadas injeções de contato para impermeabilização e reforço da vedação, no trecho que tende a ser submetido ao gradiente hidráulico mais severo.

A parede diafragma foi colocada mais a montante da seção do maciço da barragem, tanto em Gramame, como em Mamuaba. Esta posição tem vantagens construtivas, pois desvinculou a subida do maciço da barragem, da construção da parede. Entretanto, exigiu uma ligação do maciço da barragem com a região à montante da parede para a qual foi construído um tapete impermeabilizante, que incorporou a ensecadeira de montante. Este tapete tem o objetivo de vedar a fundação entre a parede diafragma e o pé do talude de montante.

O material utilizado na construção do tapete impermeável, é pouco susceptível a fissuramentos e a espessura do tapete é razoável, sugerindo que o problema foi eliminado. Entretanto grande parte do tapete está exposto a ciclos de molhagem e secagem por estar em cotas correspondentes a flutuação do nível do reservatório, o que torna severas as condições para o aparecimento de fissuras. A superfície do tapete foi ainda protegida, com uma camada de material solto, para conservar a umidade deste. A FIGURA-4.1, mostra todos os detalhes citados acima.

4.7- Escavação dos Painéis

Após a preparação do terreno no local de escavação dos painéis, foram executadas as paredes guias com o devido escoramento. Foi previsto na execução da escavação acima da parede guia, um acabamento com inclinação dirigida para a trincheira que permitiu o retorno da lama que refluiu.

A escavação dos painéis foi executada alternadamente, painéis primários e painéis secundários, com clam-shell, dando especial atenção para que a escavação ficasse constantemente cheia de suspensão bentonítica até o topo das paredes guias. A escavação de um painel somente foi executada após verificar que existia, nos tanques de lama, um volume de suspensão de lama, já hidratado, superior a duas vezes o volume previsto para a escavação deste painel. Os materiais escavados pelo clam-shell, foram despejados em caminhões-caçamba e retirados da praça de trabalho, deixando esta sempre em boas condições.

Quando houve interrupção dos trabalhos, foi assegurado que a suspensão de lama bentonítica não descesse até abaixo das paredes guias, ficando uma equipe de emergência, adicionando suspensão de lama na escavação e (ou) mantendo a já existente, sempre homogênea.

4.8- Equipamentos Utilizados

O equipamento mínimo exigido para a boa execução dos serviços e condizentes com os locais de trabalho, no sistema Gramame/Mamuaba, foram os seguintes: torre para clam-shell com peso mínimo de 8 Kg, trépano, quindaste com lança e capacidade mínima de 5 Kg, tubos juntas, trombas com diâmetro de aproximadamente 0,3 m de rosquear e com funil, central de lama com tanques de hidratação e misturador da lama bentonítica, bombas de recalques, bombas de circulação, tubulações, desarenadores, central de concretos, britadores, etc.

4.9- Durante a Execução dos Serviços

O controle da lama foi de acordo com o especificado na TABELA Nº 5, e os resultados de ensaios foi registrado num relatório de ocorrência para execução de cada painel conforme segue.

As armaduras da parede diafragma foram pré-fabricadas, isto é, executadas no local da obra, em gaiolas rígidas, antes da colocação na escavação.

A fim de possibilitar sua colocação nos painéis, as gaiolas rígidas desceram através da utilização de quindaste.

Para garantir a rigidez das gaiolas, quanto ao içamento e posicionamento, foram colocadas barras adicionais, em cantoneiras, garantindo assim um enrijecimento conveniente da ferragem principal, como mostra a FIGURA - 3.48 .

Para centralização da armadura na escavação, as gaiolas foram dotadas de espaçadores, tipo patins de ferro chato. Elas também foram dotadas de alças de içamento, e alças de travamento. As alças foram fixadas à armadura principal longitudinais de 16 mm através de três cordões de solda longitudinais de 10 cm de comprimento com intervalos de 15 cm. A FIGURA - 3.49, mostra as alças e recobrimento mínimo da armadura.

Programa de ensaios para Liberação de lama bentonita

	LOCAL DE RETIRADA DA AMOSTRA	Nº DE TESTES	TESTES	FAIXA P/ LIBERAÇÃO
ANTES DA ESCAVAÇÃO DE CADA PAINEL	TANQUE	1	DENSIDADE VISCOSIDADE	1.025 a 1.15 32 % a 40 %
DURANTE A ESCAVAÇÃO	NA VALA	MÍNIMO 1 REPETIR A CADA 12 h	DENSIDADE VISCOSIDADE P H	SOMENTE CONTROLE E REGISTRO
DEPOIS DE CHUVA SIGNIFICATIVA	NA VALA	1	DENSIDADE VISCOSIDADE	> 1.025 > 32 %
NO FINAL DA ESCAVAÇÃO	NA VALA	1	DENSIDADE VISCOSIDADE	SOMENTE CONTROLE E REGISTRO
ANTES DA CONCRETAGEM	NA VALA 0,2 m ACIMA DO FUNDO	1	DENSIDADE VISCOSIDADE P H % AREIA	< 1.10 < 45 % < 12 < 3 % } VER OBS. 1
APÓS A TROCA DE LAMA	NA VALA 0,2 m ACIMA DO FUNDO	1	DENSIDADE VISCOSIDADE P H % AREIA	< 1.15 < 45 % < 12 < 3 % } VER OBS. 1
DEPOIS DA CONCRETAGEM APÓS DESARENAÇÃO (PARA REUSO)	TANQUE	1	DENSIDADE VISCOSIDADE P H % AREIA	1.025 a 1.10 32 % a 40 % < 12 < 1 % } VER OBS. 2

OBSERVAÇÃO 1 : CASO NÃO FOREM ATENDIDA AS QUATRO FAIXAS ESPECIFICADAS, DEVER-SE-Á PROCEDER Á TROCA DE LAMA RETIRANDO-A POR SUCCÃO NO FUNDO DA ESCAVAÇÃO E COMPENSANDO NO TOPO COM LAMA NOVA ATÉ ATENDER AOS VALORES ESPECIFICADOS.

OBSERVAÇÃO 2 : CASO A LAMA OBTIDA APÓS A DESARENAÇÃO NÃO SE ENQUADRAR NOS VALORES ESPECIFICADOS, A MESMA DEVERÁ SER REJEITADA

RELATÓRIO DE OCORRÊNCIAS PARA EXECUÇÃO

DE PAREDE DIAFRAGMA, LABORATÓRIO DE CONCRETO
DO SISTEMA (1986).

LOTE: BLOCO: LAMELA: LOCAL:

PAINEL	PRIMÁRIO	SECUNDÁRIO	SUCCESSIVO			
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>			
ESCAVAÇÃO	INÍCIO	TÉRMINO				
	<input type="text"/>	<input type="text"/>				
PROFUNDIDADE	TEÓRICA (m)	REAL (m)				
	<input type="text"/>	<input type="text"/>				
ENSAIOS DE LAMA	HORA	DENSIDADE	VISCOSIDADE	PH	TEOR DE ÁGUA	CAKE
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
APOÓS A DESARENAÇÃO	% DE AREIA					
	<input type="text"/>					
GAIOLA	COMPRIMENTO (m)	LARGURA (m)	PESO (Kg)			
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>			
EMENDAS	TIPO	CLASSIFICAÇÃO				
	<input type="text"/>	<input type="text"/>				
MERGULHO DA GAIOLA NO PAINEL	HORA					
	<input type="text"/>					

Pouco antes de se colocar a armadura, foi removida a lama residual do fundo da escavação e misturada à suspensão para torná-la homogênea.

4.10- Concretagem da Parede Diafragma

As estruturas de concreto foram construídas de acordo com as normas prescritas nos capítulos V e VI da NBR-7810, (listados Na bibliografia) juntamente com as especificações da obra, seguindo ainda, os perfis, declividades, dimensões e tolerâncias mostradas nos desenhos dos projetos da parede.

Antes do início dos serviços de concretagem, verificou-se o teor de areia na suspensão da lama bentonítica, analisando, assim, se esta era adequada para o processo de concretagem. As escavações com suspensão adequada eram imediatamente concretadas não havendo um intervalo superior a cinco horas entre o final da homogeneização e a concretagem.

Em hipótese alguma foram admitidas interrupções na concretagem de um painel superiores a quinze minutos.

O concreto não ultrapassava a suspensão em contato direto, mas era introduzido na vala através de tubos de concretagem, inteiramente lisos na face interna e externa, com diâmetro da ordem de 0,30 m, fixados na armadura. O contato com a suspensão, ao iniciar-se a concretagem, era evitado por meio de uma bola de borracha usada na boca do tubo trêmie de descarga do concreto.

A consistência do concreto era estabelecida, de modo que a boca de descarga dos tubos de concretagem permanecesse, embutida no início desta, entre 0,30 m e 0,50 m acima do fundo da vala, a partir daí o tubo era imerso no mínimo 3,00 m no concreto. A concretagem de painéis maiores que 2,50 m era executada com duas composições de tubos.

Na concretagem de painéis da parede diafragma, adotaram-se várias exigências: - consumo de cimento no concreto submerso de no mínimo 3,50 KN/m³ (350 Kg/m³); - plasticidade correspondente a um slump variando de 19 a 23 cm; - ensaios iniciais de caracterização de todos os

materiais componentes do concreto, além dos ensaios periódicos fixados pela EB-1 e EB-4; - resistência característica do concreto, maior que 20 MPa dos corpos de prova extraídos dos painéis. tendo em vista que as condições de concretagem, lançamento, grau de contaminação e precariedade de cura, fatalmente ocasionaria diminuição na resistência do concreto, o concreto de lançamento foi projetado para f_{ck} entre 27 e 29 MPa aos 28 dias. Essa relação foi obtida com base no procedimento apresentado a seguir:

$$f_{cj} = f_{ck} / (1 - t \cdot V_d) \quad (\text{resistência média inicial para o controle})$$

$$V_d = \ln \cdot V_n \quad e \quad t = 1,65$$

n	30	35	40	45	50	75	100	125	150	200	> 200
ln	1,29	1,26	1,24	1,22	1,21	1,16	1,14	1,12	1,11	1,09	1,08

não se tomou valor para V_d inferior a 10%.

$$\bar{X}_n = \frac{\sum X_i}{n} ; \quad S_n = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X}_n)^2}{(n - 1)}} ; \quad V_n = \frac{S_n}{\bar{X}_n} \times 100$$

n = número de amostras;

f_{ck} = resistência característica fixada em projeto aos 28 dias de idade ;

S_n = desvio padrão de "n" resultados dos ensaios;

V_n = coeficiente de variação de "n" resultados de ensaios;

X_i = resultado de ensaios (representa o valor médio de dois corpos de prova de uma mesma amostra, rompidos na mesma idade) ;

\bar{X}_n = resistência à compressão média correspondente a "n" resultados de ensaios.

A cada conjunto de 30 resultados consecutivos de ensaios foi imposto o seguinte critério de conformidade do concreto fabricado. O valor característico da resistência à compressão do concreto amostrado atendeu ao valor característico especificado no projeto (f_{ck}) se:

$$\bar{X}_{30} - 1,35 \times S_{30} \geq f_{ck} \quad \text{e} \quad X_{(1)} \geq f_{ck} = 4,5 \text{ MPa,}$$

onde:

$X_{(1)}$ = menor resultado de ensaio do conjunto de 30 resultados consecutivos.

Com o objetivo de tornar econômico o traço de concreto, a resistência de dosagem (f_{cj}) foi reduzida, sempre que se teve $\bar{X}_{30} - 2,64 \times S \geq f_{ck}$.

4.11- Normas Empregadas na Caracterização dos Materiais e do Concreto

Ao laboratório de concreto da obra, competia a realização dos ensaios do concreto e seus constituintes na medida necessária que garantia o controle de qualidade nas atividades de rotina. Tais ensaios compreendiam os seguintes materiais: cimento, água, agregados, aditivos, concreto e aço. Esse procedimento se aplicava às atividades da seção de tecnologia, de concreto, pilhas de estoque de agregados, central dosadora, jazidas de areias e pátio de ferragem.

Os laboratórios de concreto do CEPED, ITEP e da UFPB, prestaram o apoio necessário à obra, na execução de ensaios específicos.

CIMENTO :

- As amostras foram coletadas na central dosadora, ou no próprio caminhão graneleiro;

- para liberação foram realizadas amostragens para cada 30.000 Kg ou fração;

- a cada dez amostras de controle, foi composta uma amostragem para a realização de todos os ensaios.

Além das especificações de concreto da obra, foram seguidas as especificações NBR-5741, NBR-5732, NBR-5733, NBR-5735, NBR-5736 e NBR-5737, listadas na bibliografia.

Os ensaios executados no cimento, foram os seguintes:

TIPOS DE ENSAIOS	NORMAS DE ENSAIOS
- finura na peneira ABNT nº 200	NBR-7215
- massa específica	NBR-6474
- tempo de pega	NBR-7215
- superfície específica Blaine	NBR-7224
- resistência a compressão: 3, 7 e 28 dias	NBR-7215
- perda ao fogo	NBR-5743
- resíduo insolúvel	NBR-5744
- cal livre	NBR-5748
- SO ₃	NBR-5745
- SiO ₂ , Fe ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ , CaO total e MgO	NBR-5749
- Na ₂ O e K ₂ O	NBR-5747

AGREGADOS:

- As amostragens foram diárias, até a caracterização dos materiais da região;

- a partir das amostras diárias formou-se uma amostragem composta correspondente a uma semana, para ser submetida aos mesmos ensaios.

Além das especificações do concreto da obra, os agregados obedeceram as especificações da NBR-7216, e ASTM-C-33. Os ensaios estão abaixo descritos.

TIPOS DE ENSAIOS	NORMAS DE ENSAIOS
- análise granulométrica	NBR-7217
- teor de material pulverulento	NBR-7219
- módulo de finura	NBR-7217
- densidade e absorção	ASTM C-127 e C-128

ADITIVOS:

- As amostras foram colhidas no topo, no meio e no fundo de tanques e (ou) recipientes;

- Foram coletadas amostras de 100 ml de cada recipiente e constituída uma amostra média.

Foram seguidas as especificações C-260 e C-494 da ASTM, bem como os limites para determinadas propriedades dos produtos, fornecidos pelos fabricantes. Os ensaios estão discriminados a seguir.

TIPOS DE ENSAIOS

NORMAS DE ENSAIOS

- | | |
|---|------------|
| - tempo de pega (retardador) | ASTM C-403 |
| - consistência da argamassa (plastificante) | NBR-7215 |

ÁGUA:

- Foi coletada uma amostra semanal de água na central dosadora;

- o espaço de tempo entre a coleta e o início do ensaio foi o menor possível.

Além das especificações do concreto da obra, foram seguidas a norma NBR-7810 parágrafo 8.1.3 e o método CETESB LI.007.

CONCRETO:

- Foi coletada na fase inicial de produção, uma amostra para moldagem de seis corpos de prova de diâmetro 15 x 30 cm, a cada 30 m³ ou fração de um mesmo traço;

- Durante a fase normal foi realizada uma amostragem a cada 50 m³ ou fração, composta de quatro exemplares.

A especificação seguida, foi a NBR-5750. Os ensaios foram os indicados abaixo:

TIPOS DE ENSAIOS

NORMAS DE ENSAIOS

- | | |
|---------------------------------------|------------|
| - consistência (slump test) | NBR-7223 |
| - confecção e cura de corpos de prova | NBR-5738 |
| - compressão axial simples | NBR-5739 |
| - peso unitário | ASTM C-138 |
| - tempo de pega | ASTM C-403 |

AÇOS:

- Foi retirada uma amostra com o comprimento de 1,90 m em laboratório. Esta barra foi dividida nos comprimentos de 1 x 0,20 m (ponta da barra a ser desprezada), 3 x 0,30 m (peso por metro linear e dobramento), e 1 x 0,80 m (ensaio de tração).

A especificação de amostragens de aços e emendas seguiu a NBR-7480 e o método MB-857. Os ensaios foram os descritos a seguir.

TIPOS DE ENSAIOS

NORMAS DE ENSAIOS

- tração	NBR-7480 e NBR-6152
- dobramento	NBR-7480 e NBR-6153
- verificação da bitola	NBR-7480

EMENDAS:

- Foi retirada uma amostra a cada 25 emendas executadas, de comprimento igual a 1,60 m, sendo divididas 1 x 0,80 m (ensaio de tração na emenda), 1 x 0,80 m (cálculo da bitola e ensaio de tração da barra padrão).

O critério para aceitação de barras emendadas foi o que segue:

- i) aço CA-25: tensão de ruptura > 300 MPa
- ii) aço CA-50: tensão de ruptura > 600 MPa

O tipo de concreto utilizado na execução da parede diafragma de acordo com a resistência, característica, impermeabilidade e trabalhabilidade exigida por esta estrutura rígida, foi um concreto classe D que apresentou as seguintes características: resistência característica de ruptura (fck) 20 MPa aos 28 dias; faixa de variação do abatimento do tronco de cone através do slump test igual a 19 ± 2 cm; diâmetro dos agregados iguais a 25 mm (S1) e 9,5 mm (S0).

concretagem, equipamentos utilizados, mão de obra disponível e o projeto.

Para injeções no pé do diafragma, foram colocados tubos de PVC rígido, de espera, nos painéis para posterior injeção do pé do diafragma. Estes tubos de PVC foram amarrados na armação, de preferência nos ferros de enrijecimento da gaiola, no eixo do diafragma, com espaçamento médio de 1,50 m entre si, permitindo espaçamento de 1,20 m até 1,80 m em função da posição das juntas entre painéis. Os tubos foram de ponta e bolsa com um tampão na sua base.

A injeção foi executada e concluída antes da impermeabilização do topo do painel, e podia ser tanto antes quanto depois do arrasamento deste. Após a pega do concreto, perfurou-se a fundação (3,00 m) abaixo do pé do painel em furos alternados, com rotoperfuração e bit de 6,35 cm (2 1/2"). A injeção foi feita com calda de cimento, e com eventual adição de bentonita, com o obturador na base do tubo de PVC. Iniciou-se com calda de 0,7:1 e quando foi necessário aumentou ou diminuiu de acordo com as necessidades do local. Nos casos em que não foi possível introduzir o obturador até a base do tubo de PVC, por causa de deslocamentos sofridos pelo tubo durante a colocação da armação na escavação, a injeção foi executada com o injetor na profundidade até onde fosse possível introduzi-lo.

A pressão efetiva de injeção foi igual a 0,02 MPa multiplicado pela profundidade do meio do trecho de 3,00 m, que era injetado (independentemente da posição do obturador). A injeção prosseguia durante 20 min, registrando-se o volume de calda absorvida nos 10 min iniciais e o volume de calda absorvida nos 10 min finais, definindo-se o volume absorvido, como o volume medido no hidrômetro (ou agitador) menos o volume necessário para encher o furo até o obturador.

A injeção foi considerada concluída quando a absorção foi inferior a 10 l em 10 min; quando o volume injetado nos 10 primeiros minutos foi superior a 10 l, a injeção prosseguiu até 20 min, e podia ocorrer os três casos seguintes:

1º CASO: A absorção entre 10 e 20 min foi inferior a 10 l. Neste caso, a injeção foi dada por encerrada;

2º CASO: A absorção entre 10 e 20 min foi superior a 10 l, então houve redução significativa em relação à absorção

durante os dez primeiros minutos. Neste caso, a injeção foi paralisada até o tempo de início de pega da calda, definido em 3 h. Após este tempo, procedeu-se a lavagem do furo e reiniciada a operação de injeção, seguindo-se o mesmo processo de controle e obtenção da nega;

3º CASO: A absorção entre 10 e 20 min foi superior a 10 l, entretanto foi significativamente inferior à absorção durante os dez primeiros minutos. Neste caso, poder-se-ia, ou paralisar a injeção por 3 h conforme o 2º caso acima, ou prosseguir a injeção por um ou mais períodos de 10 min até obter a nega especificada.

Caso se verificasse que existia comunicação entre o furo em fase de injeção e um furo vizinho perfurado, porém não injetado, o furo no qual existia surgência de calda era obturado ou tamponado, prosseguindo-se a injeção normalmente. Após a obtenção da nega, os dois furos eram considerados injetados.

Em regiões nas quais se verificaram absorções significativamente altas, era determinado que a injeção fosse executada em 2 subtrechos de 1,50 m ou 3 subtrechos de 1,00 m, de maneira ascendente.

Após a conclusão da injeção, os furos eram preenchidos até a boca. O preenchimento poderia ser de calda, ou se enchia, com a calda até 1,00 m acima da base do tubo, tamponando o metro superior com calda ou argamassa.

Após a remoção das paredes guias, o arrasamento de cada painel 40 cm abaixo do nível da manta de PVC, os 60 cm superiores da face de montante dos painéis, foram preparados para colagem da manta de PVC. A colagem somente foi executada ao longo de 40 cm, deixando a manta apenas apoiada no concreto nos 20 cm superiores (FOTOGRAFIA-4.8). A seguir foram reaterradas as valas a montante e a jusante da parede diafragma até 40 cm acima da cota de arrasamento, com compactação por placas, atendendo aos teores de umidade e grau de compactação especificados para o maciço da barragem.

Com a manta de PVC faceando o talude do reaterro de montante, foi preenchida a vala existente no topo da parede diafragma com argila plástica preparada com teor de umidade entre 1,15 hot e 1,20 hot socada no local. A manta de PVC foi estendida para jusante e, após, recoberta por uma camada de solo idêntico ao material usado no maciço, porém sem elemento passando na peneira 4. Esta camada de material

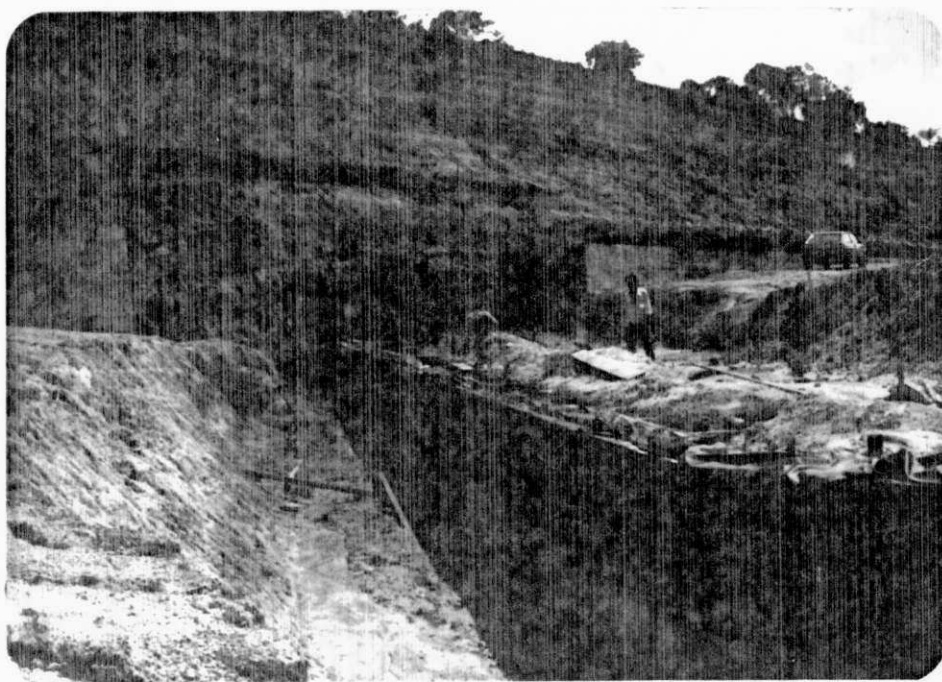


FOTO-4.8 - Manta de PVC revestindo o topo da parede diafragma , colada nas laterais e estirada para montante , PEREIRA HENRIQUES J. P., (1988) .

não foi gradeada em cima do PVC. O material foi preparado fora da praça (destorroado, gradeado e umidificado) com umidade tal que após ser espalhado, sua umidade ficasse entre $hot + 1\%$ e $hot + 2\%$. A camada foi lançada com 20 cm de espessura, regularizada manualmente, com cuidado para não danificar a manta de PVC, e a seguir foi compactada atendendo às especificações de grau de compactação mínimo do maciço.

4.12- Instrumentação Implantada no Sistema Gramame/Mamuaba

A instrumentação instalada é do tipo piezômetro de duas modalidades: Casagrande e Pneumático.

Ambas as barragens apresentam três seções instrumentadas, com nove piezômetros pneumáticos cada seção, constando de três piezômetros instalados a montante da parede diafragma, três a jusante e três distribuídos na fundação abaixo do tapete drenante. Cada seção possui nove piezômetros ligados a uma cabine de leitura.

Na barragem do gramame, existem cinco piezômetros instalados abaixo da laje do sangradouro, perfazendo um total de 32 piezômetros nessa barragem, e possuindo uma cabine a mais (4) onde se instalaram estes 5 piezômetros. As FIGURAS-4.2 e 4.3 apresentadas em planta, mostram as localizações dos piezômetros.

As seções instrumentadas da barragem do Gramame, ficam nas estacas 21,00; 32,00; 26 + 10,00 e 42A + 4555 (sangradouro). Em Mamuaba ficam nas estacas 7 + 10,00; 24,00 e 16 + 10,00.

Os piezômetros Casagrande estão distribuídos nas duas ombreiras de cada barragem, sendo que sua localização e instalação estão mostrados a seguir.

A barragem do Gramame possui 8 e a barragem do Mamuaba possui 7 piezômetros Casagrande. Todos os piezômetros foram instalados durante e após a conclusão da obra, sendo que as leituras só foram iniciadas após a obra concluída, e quando esta já estava com um volume considerável de água no reservatório, outubro de 1989. As leituras foram iniciadas com os ensaios de dissipação dos piezômetros Casagrande.

PIEZÔMETROS CASAGRANDE INSTALADOS NA BARRAGEM DO GRAMAME

PIEZÔMETROS	ESTACAS	DISTÂNCIA DO EIXO	COTA DE INSTALAÇÃO
PC 01	47A + 10	1 0,00 J	15,00
PC 02	43A + 15	85,00 J	13,50
PC 03	40A + 10	11,00 J	15,00
PC 04	39 + 00	78,00 J	13,50
PC 05	16 + 00	11,00 J	20,00
PC 06	12 + 00	11,00 J	20,00
PC 07	47A + 18	11,00 J	19,00
PC 08	47A + 19	65,00 J	9,20

PIEZÔMETROS CASAGRANDE INSTALADOS NA BARRAGEM DO MAMUABA

PIEZÔMETROS	ESTACAS	DISTÂNCIA DO EIXO	COTA DE INSTALAÇÃO
PC 01	34 + 10	11,00 J	20,00
PC 02	32 + 00	11,00 J	20,00
PC 03	5 + 13	2,80 J	15,00
PC 04	5 + 13	64,00 J	15,00
PC 05	4 + 6	2,80 J	15,00
PC 06	4 + 6	31,00 J	15,00
PC 07	4 + 6	58,00 J	15,00

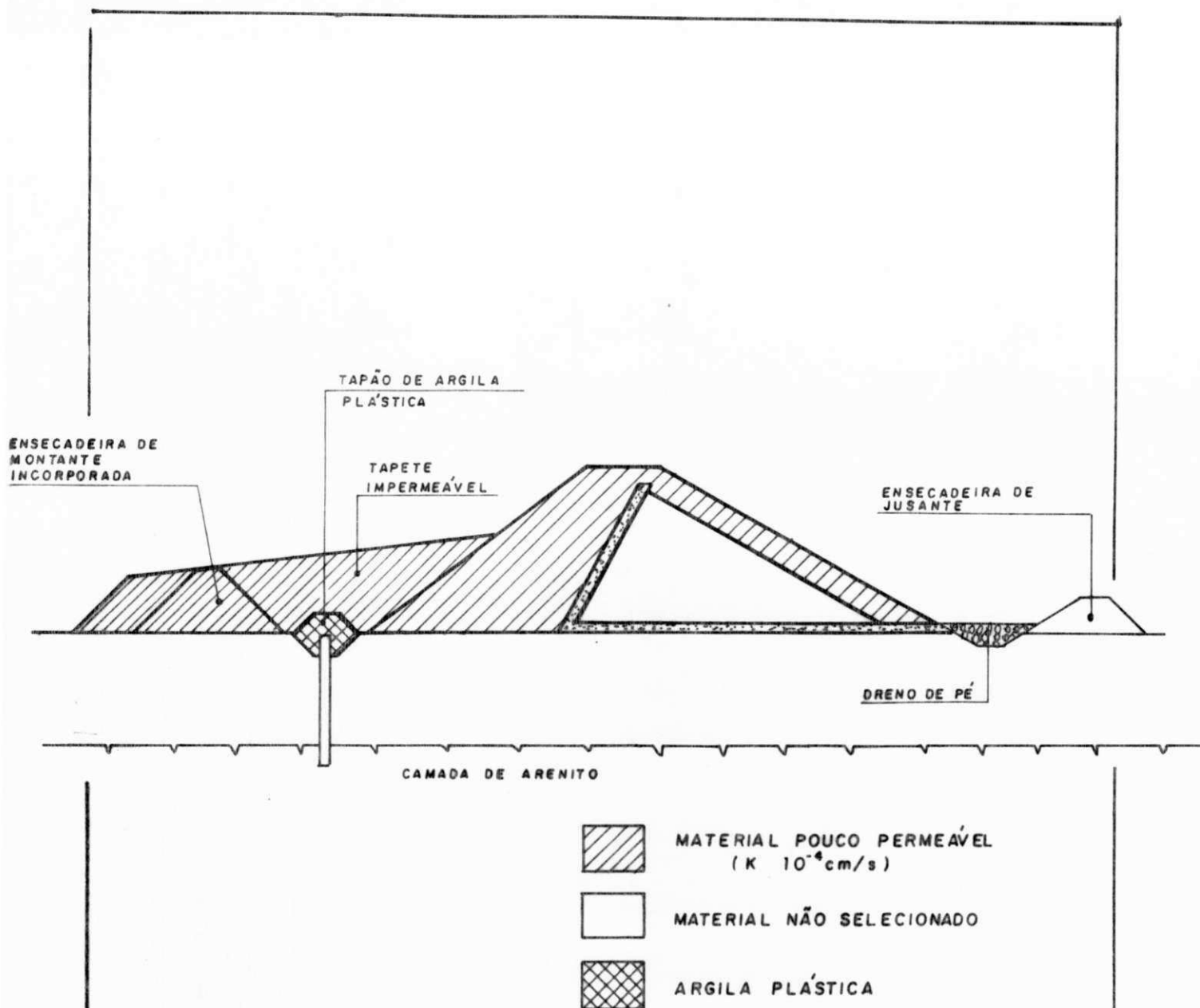


FIGURA 4.1 - PERFIL DAS BARRAGENS ONDE MOSTRA A DESVINCULAÇÃO DA PAREDE DIAFRAGMA EM RELAÇÃO AO MACIÇO E O TAPETE IMPERMEÁVEL SE APRESENTA COMO UNIÃO, TECNOSAN - PROJETO (1986).

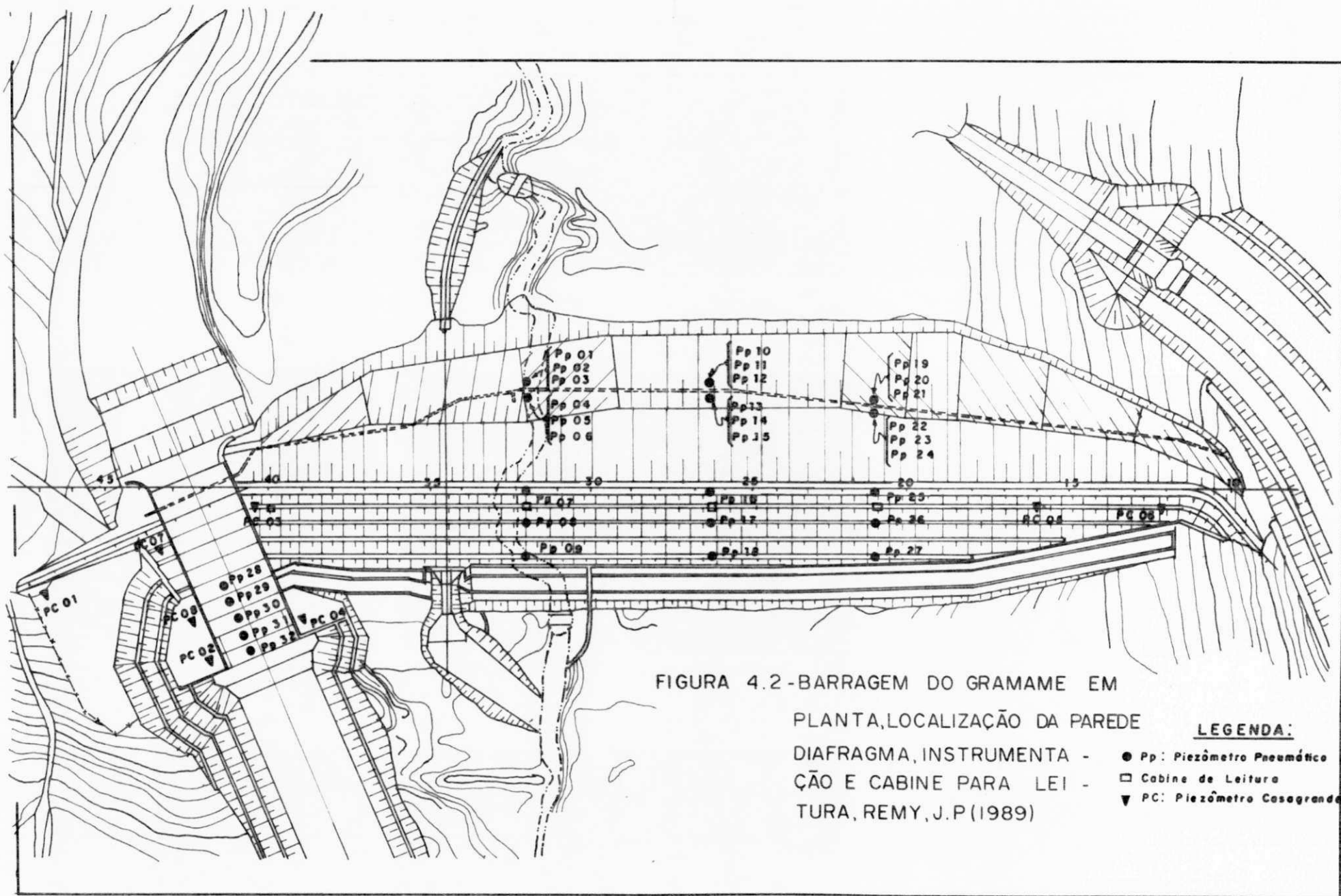


FIGURA 4.2 - BARRAGEM DO GRAMAME EM PLANTA, LOCALIZAÇÃO DA PAREDE DIAFRAGMA, INSTRUMENTAÇÃO E CABINE PARA LEITURA, REMY, J.P (1989)

LEGENDA:

- Pp: Piezômetro Pneumático
- Cabine de Leitura
- ▼ PC: Piezômetro Casagrande

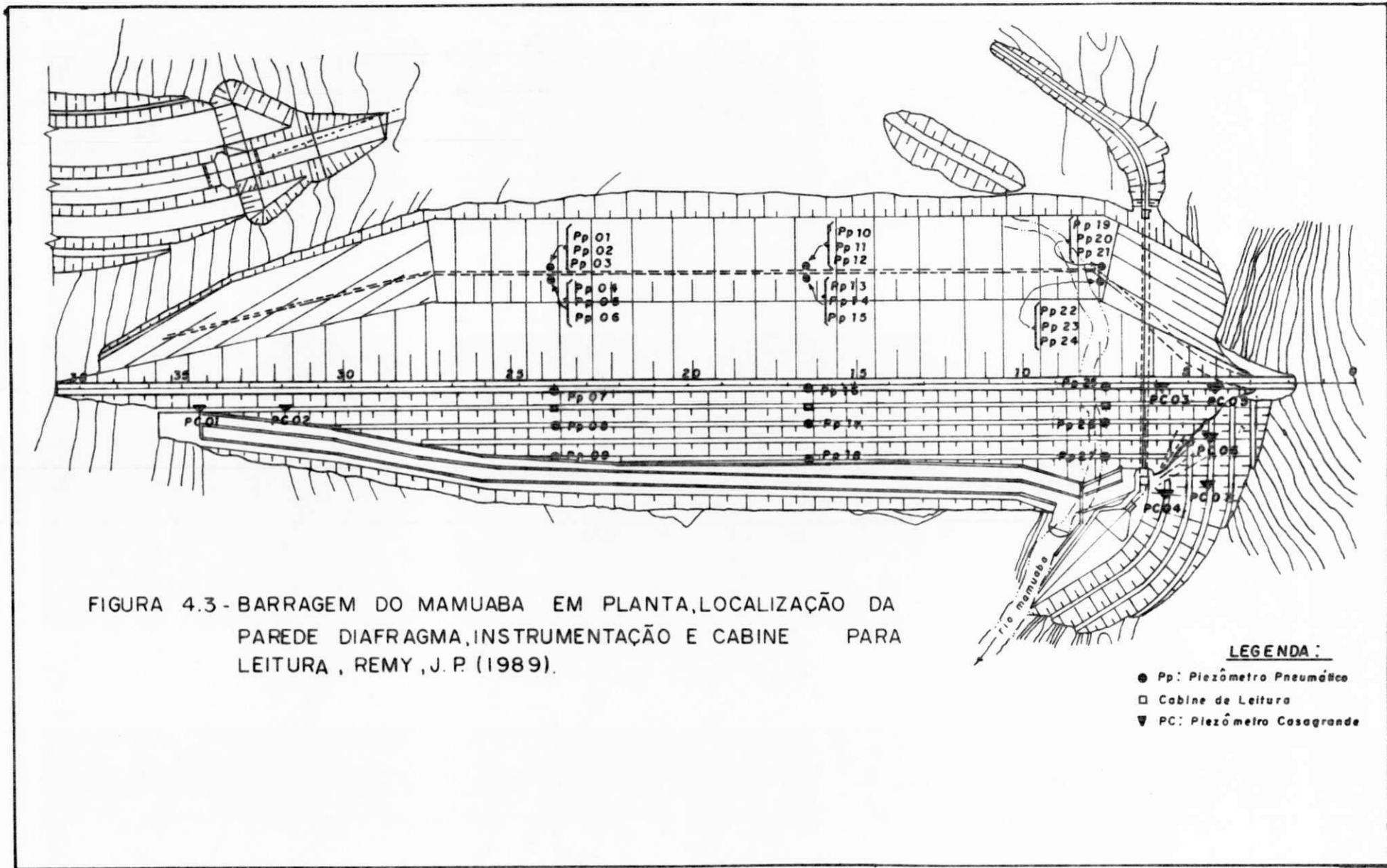


FIGURA 4.3 - BARRAGEM DO MAMUABA EM PLANTA, LOCALIZAÇÃO DA PAREDE DIAFRAGMA, INSTRUMENTAÇÃO E CABINE PARA LEITURA, REMY, J. P. (1989).

- LEGENDA:**
- Pp: Piezômetro Pneumático
 - Cabine de Leitura
 - ▼ PC: Piezômetro Casagrande

CAPÍTULO 5

INSTRUMENTOS, LEITURAS, PROTEÇÃO, INSTALAÇÃO E LOCALIZAÇÃO

5.1- Introdução

Nesse capítulo descrevem-se os piezômetros Pneumáticos e Casagrande instalados no sistema das barragens Gramame/Mamuaba como também suas leituras, instalações, proteções, localizações e objetivos desses instrumentos.

5.2- Objetivos da Instrumentação Instalada

Os instrumentos instalados têm, como objetivo, monitorar o comportamento das barragens e permitir detectar qualquer anomalia de funcionamento que possa ocorrer, de maneira que se possam tomar as medidas corretivas antes de prejudicar a segurança das barragens bem como, avaliar o comportamento, da parede diafragma instalada em terreno de aluvião na fundação.

5.3- Piezômetro Pneumático, Leitura, Instalação, Proteção e Localização

5.3.1- Descrição e Leitura

Os piezômetros pneumáticos constam de uma célula piezométrica instalada no solo, que contém uma pedra porosa e um sensor pneumático. A parte sensitiva consiste de uma câmara fechada, de aço, com diafragma de aço inox que cobre dois orifícios. Esses orifícios são ligados ao terminal de leitura por dois tubos de nylon de 3,18 mm de diâmetro, de paredes grossas.

O piezômetro pneumático, FIGURA-5.1, utilizado no sistema das barragens Gramame/Mamuaba, é o desenvolvido pela

Indústria e Comércio RONALD TOP LTDA., com sede no Rio de Janeiro.

Segundo Remy (1989) e Coutinho (1986) o gás utilizado para a medida de pressão, deve ser um gás seco, (nitrogênio seco). No nosso caso, utilizou-se o nitrogênio comum, devido a dificuldade em se encontrar o nitrogênio seco.

Com a instalação da célula piezométrica, a pressão hidráulica conserva o diafragma colado contra os orifícios de entrada e saída do núcleo da célula de pressão. Para a leitura, injeta-se o gás com uma pressão conhecida, a partir da unidade portátil de leitura para o diafragma, através de um dos tubos de nylon. Quando a pressão do gás injetado for superior a da pressão hidráulica em torno da célula piezométrica, o diafragma se abrirá permitindo o retorno do gás pelo outro tubo de nylon, para o medidor de fluxo (fluxômetro) instalado na maleta de leitura. Quando o fluxo se estabilizar no valor especificado pelo fabricante, a pressão atuante na célula piezométrica será lida em um dos dois manômetros na unidade de leitura.

A unidade de leitura, FOTOGRAFIA-5.1, é composta por uma maleta portátil, munida de manômetros tipo Bourdon com capacidade de 0,25 MPa, 1 MPa e 1,4 MPa, com precisão de 0,5%, 3 válvulas, 3 engates rápidos e um fluxômetro. Acompanha ainda, uma garrafa de gás composta por duas válvulas e dois manômetros, um com capacidade de 30 MPa para medir a pressão da garrafa e outro com 1,6 MPa para controlar a pressão do gás utilizado para leitura.

5.3.2- Instalação, Proteção e Localização

A perfuração para instalação dos piezômetros pneumáticos foi executada usando-se sonda rotativa de diâmetro KW sem recuperação de testemunho com revestimento até 0,20 m abaixo da cota de instalação, e com pouca água, para limitar os riscos de fraturamento hidráulico do maciço. A limpeza do furo foi efetuada por lavagem, até que a água de retorno fosse limpa, sendo feitas medições do nível d'água e da profundidade do furo, antes da instalação do piezômetro. Na perfuração para instalação dos piezômetros pneumáticos, situados à montante e à jusante da parede diafragma, tanto em Gramame como em Mamuaba, como eles se encontram abaixo da manta de PVC, foi executado inicialmente um poço de 0,80 x 0,80 m escavado manualmente dentro do tapete impermeabilizante, até descobrir a manta de PVC, sem

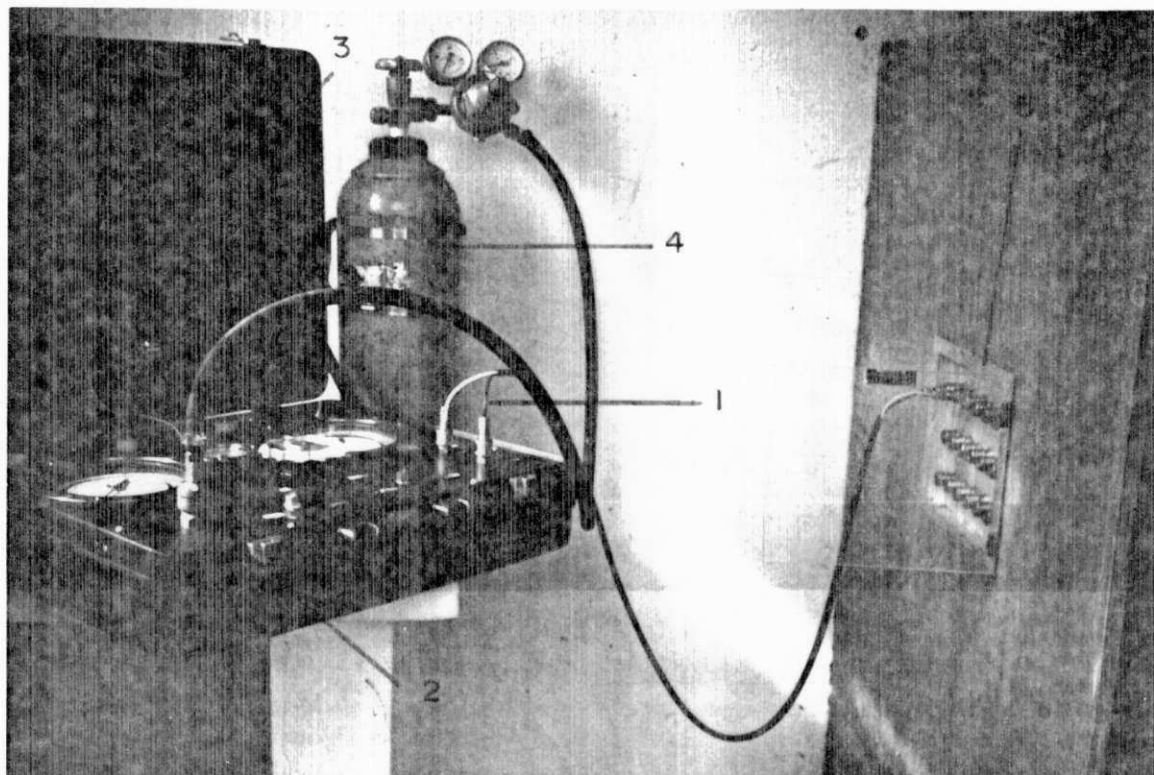


FOTO-5.1 - Mostra a unidade portátil de leitura dos piezômetros pneumáticos. destaca-se.

- a conexão piezômetro maleta (1)
- a conexão maleta tubo de gas (2)
- fluxômetro (3)
- garrafa de gas com manômetros e válvula (4)
- caixa terminal, para conexão piezômetros maleta ,PEREIRA HENRIQUES, J. L. (1990) .

danificá-la; depois foi cortado na manta uma abertura igual ao diâmetro externo de um tubo de PVC de diâmetro igual a 127 mm. Cravou-se 0,40 m de comprimento desse tubo no terreno através dessa abertura, colando-se um flange no tubo e na manta, FIGURA-5.2. A seguir, perfurou-se por dentro desse tubo conforme descrito acima.

Antes da instalação adotou-se que os piezômetros fossem entregues já conectados com o seu comprimento nominal de tubulação dupla, previamente estabelecido, (por exemplo: PFG 02 = 103 m e PFM 27 = 51 m com margem de segurança), com a conexão montada na fábrica, para se evitar vazamentos, e com o tubo duplo enrolado num carretel de madeira (um carretel para cada piezômetro). Os piezômetros e os tubos foram identificados com um número próprio (para Gramame: PFG 01 a PFG 32 e para Mamuaba PFM 01 a PFM 27). Também pediu-se a indústria RONALD TOP que fossem fornecidas sete caixas terminais (seis para nove piezômetros cada uma, e uma para cinco piezômetros) junto com cinquenta e nove pares de engates rápidos, sendo fixados nas cabines de leituras antes do início da instalação dos piezômetros. Cada caixa terminal foi fornecida com a plaqueta de identificação correspondente a cada par de engates rápidos, FIGURA-5.3.

A instalação dos piezômetros pneumáticos de Gramame e de Mamuaba, de números 07, 08, 09, 16, 17, 18, 25, 26 e 27 localizados na fundação, abaixo do maciço dessas barragens foi executada conforme a seguir descrito: calculou-se o volume de areia necessária para preencher os 0,20 m iniciais do furo; desceu-se o piezômetro saturado pendurado no tubo duplo; após colocar o piezômetro, preencheu-se o furo com areia até 0,20 m acima do piezômetro para formar o bulbo drenante, determinando-se a seguir, a profundidade do topo da camada de areia; executou-se o selo de argila, e determinou-se a profundidade do topo da camada de argila; preencheu-se o resto do furo com calda de cimento e areia, até o completo preenchimento do furo. Findo esse procedimento, preencheu-se um boletim de instalação, FIGURA-5.4, para cada piezômetro instalado.

Os piezômetros de Gramame de números PFG 28 e PFG 32 localizados no sangradouro, tiveram suas instalações executadas como descrito a seguir: após ser executada a camada drenante de seixo arenoso com 15 cm de espessura, abriu-se uma valeta com 10 cm de profundidade, e colocou-se os tubos dos piezômetros no fundo dessa valeta e estendeu-se sem esticá-los até o dreno a jusante, FIGURA-5.5. Os tubos ao saírem de baixo da estrutura do sangradouro e ao chegarem no topo do furo para os piezômetros instalados na fundação abaixo do maciço, foram conduzidos até a cabine de leitura enterrados no fundo de uma trincheira de 0,40 x 0,40 m,

escavada manualmente. Os tubos foram colocados nessa trincheira e ligados às caixas terminais, após cortar dentro da cabine o comprimento de tubo excedente. A FIGURA-5.6 mostra os detalhes de chegada dos cabos dos piezômetros na cabine de leitura. Os tubos dos piezômetros de montante foram colocados numa trincheira até o pé do rip-rap, seguindo por dentro do tubo de espera colocado debaixo deste, e a seguir numa trincheira na crista e no talude de jusante até a cabine. As trincheiras foram enterradas, em duas camadas de 0,20 m compactadas manualmente, sendo que na primeira camada era usado material isento de pedregulhos, FIGURA-5.7.

As FIGURAS-4.2 e 4.3, mostram as localizações em planta das cabines de leituras e dos piezômetros pneumáticos, tanto em Gramame, como em Mamuaba.

5.4- Piezômetros Casagrande, Leitura, Instalação, Proteção e Localização

5.4.1- Descrição e Leitura

Os piezômetros casagrande, FIGURA-5.8, instalados nas barragens Gramame/Mamuaba, compõem-se de uma célula piezométrica de PVC, FOTOGRAFIA-5.2, conectada pelo seu topo aos tubos de leitura e proteção também de PVC.

A célula piezométrica, que foi confeccionada na própria obra, possui diâmetro externo de 40 mm, altura de 110 cm e foi preenchida internamente com areia envolvida por Bidim. A superfície drenante da célula, com 70 cm de comprimento, possui oito furos com diâmetro 0,40 cm em cada seção transversal espaçada de 2,0 cm.

O tubo de leitura, com diâmetro de 20 mm, é envolvido externamente pelo tubo de proteção que possui diâmetro de 32 mm, e ambos seguem até 70 cm acima da superfície da barragem no local de instalação.

Devido ao nível piezométrico do solo em torno da célula, há percolação d'água para o interior do tubo de leitura, através da célula piezométrica, até se alcançar o estado de equilíbrio hidrostático.



FOTO-5.2 - Célula piezométrica Casagrande,
PEREIRA HENRIQUES, J. L. (1989) .

- célula piezométrica do piezômetro (1)
- tubo de leitura do piezômetro (2)

Inserindo-se o aparelho de medidas através do tubo de leituras até se alcançar o nível d'água em seu interior, obtém-se a cota do nível piezométrico pela diferença entre a cota do topo do tubo de 20 mm e a leitura efetuada.

O medidor elétrico de nível d'água é constituído por um sensor elétrico, ligado a dois fios e uma trena para leitura. O sensor elétrico ao entrar em contato com a água do piezômetro fecha o circuito, que aciona um sinal sonoro no carretel, e permite que seja lido na trena a profundidade do nível d'água. A FOTOGRAFIA-5.3, mostra o sensor elétrico (carretel), a proteção do piezômetro em tubo galvanizado de 100 mm e a leitura sendo executada.

Antes de se iniciarem as leituras dos piezômetros Casagrande, fez-se o ensaio de dissipação, que permite verificar a eficiência de funcionamento desses piezômetros.

Recomenda-se que esses ensaios devem ser executados no início das leituras, como recomendado, não sendo até o momento (janeiro 92) necessário repetir. As TABELAS de números 6 a 10 e as de números 1 a 5 dos ensaios de dissipação dos piezômetros de número 02 e 03 de mamua e 03, 05 e 07 de Gramame estão anexos no final deste capítulo.

5.4.2- Instalação, Proteção e Localização

A perfuração para instalação desses piezômetros foi executada com sonda rotativa com diâmetro HW, sem recuperação de testemunho e com revestimento até 0,20 m abaixo da cota de instalação. A FOTOGRAFIA-5.4, mostra um furo sendo executado para instalação de um dos piezômetros. A limpeza do furo foi por lavagem, e antes da instalação era feita uma leitura de nível d'água e da profundidade do furo.

A instalação dos piezômetros Casagrande foi executada calculando-se inicialmente o volume de areia necessário para preencher os 20 cm iniciais do furo, lançando-se essa areia e determinando-se a profundidade dessa camada formada; descendo-se a célula saturada no furo, preenchendo-se com areia o espaço entre a célula e o furo até 20 cm acima do topo da célula, formando o bulbo drenante; executando-se o selo com argila e determinando-se a profundidade do topo da camada de argila; preenchendo-se o restante do furo com calda de cimento e areia, até o total



FOTO-5.3 - Leitura sendo executada de um piezômetro Casagrande. FERREIRA HENRIQUES, J. L. (1990).

destaca-se:

- o sensor de leitura (torpedo) (1)
- a trena, onde se faz a leitura (2)
- o instrumento sonoro (3)
- a proteção do piezômetro, em tubo de ferro galvanizado, com tampa de rosca e cadeado (4)
- o piezômetro (5)

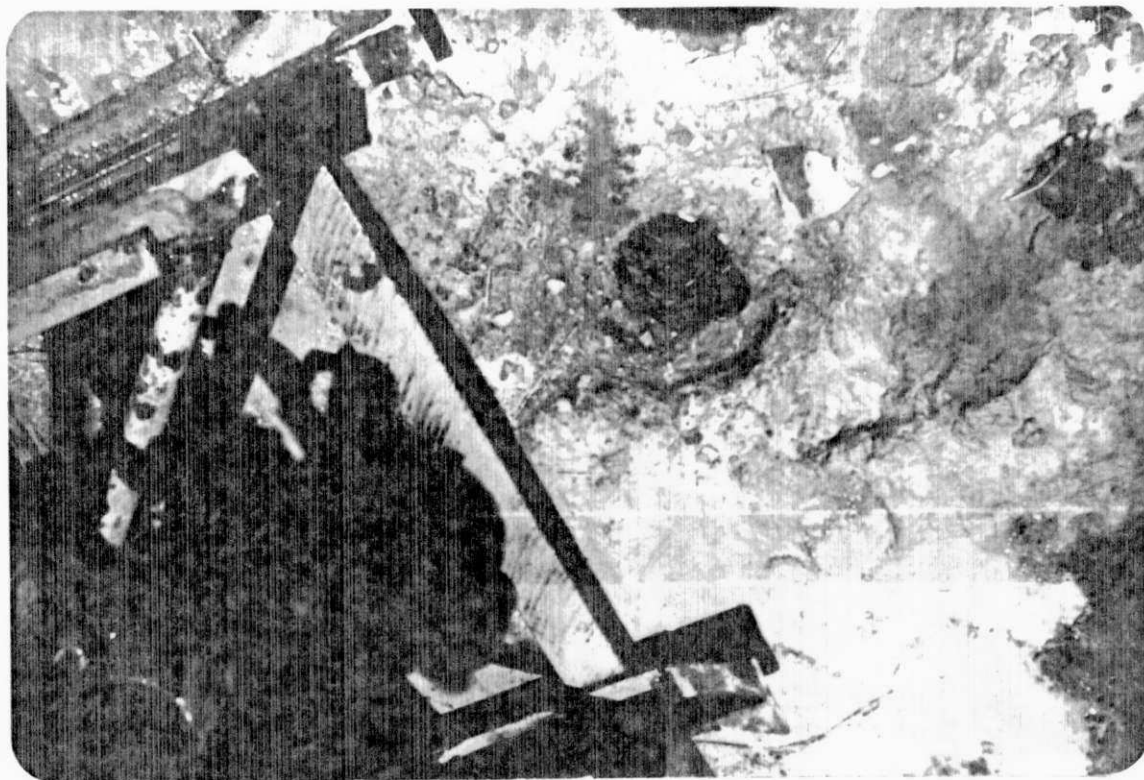


FOTO-5.4 - Furo sendo executado com sonda rotativa, para instalação de um piezômetro Casagrande na barragem do Gramame, PEREIRA HENRIQUES, J. L. (1989) .

preenchimento do furo. A seguir preencheu-se o boletim de instalação, FIGURA-5.9.

A proteção superficial, FOTOGRAFIA-5.5, dos piezômetros foi executada fazendo uma cavidade com seção transversal de 20 x 20 cm e 50 cm de profundidade, em torno do piezômetro; a seguir encheu-se essa cavidade com concreto magro, de modo a engastar a extremidade inferior do tubo de aço galvanizado com 1,20 m de comprimento e diâmetro de 100 mm; o preenchimento do espaço entre o piezômetro e o tubo de proteção foi feito com argamassa de cimento e areia, até o nível correspondente ao terreno; no topo do tubo galvanizado foi adaptado uma tampa de chapa de ferro rosqueada com adaptação para cadeado. Nessa tampa foi feita a identificação de cada piezômetro, Gramame: PCG 01 a PCG 08 e Mamuaba: PCM 01 a PCM 07.

Os piezômetros Casagrande, como pode ver nos desenhos das FIGURAS-4.2 e 4.3, estão localizados principalmente nas ombreiras direita e esquerda das barragens.

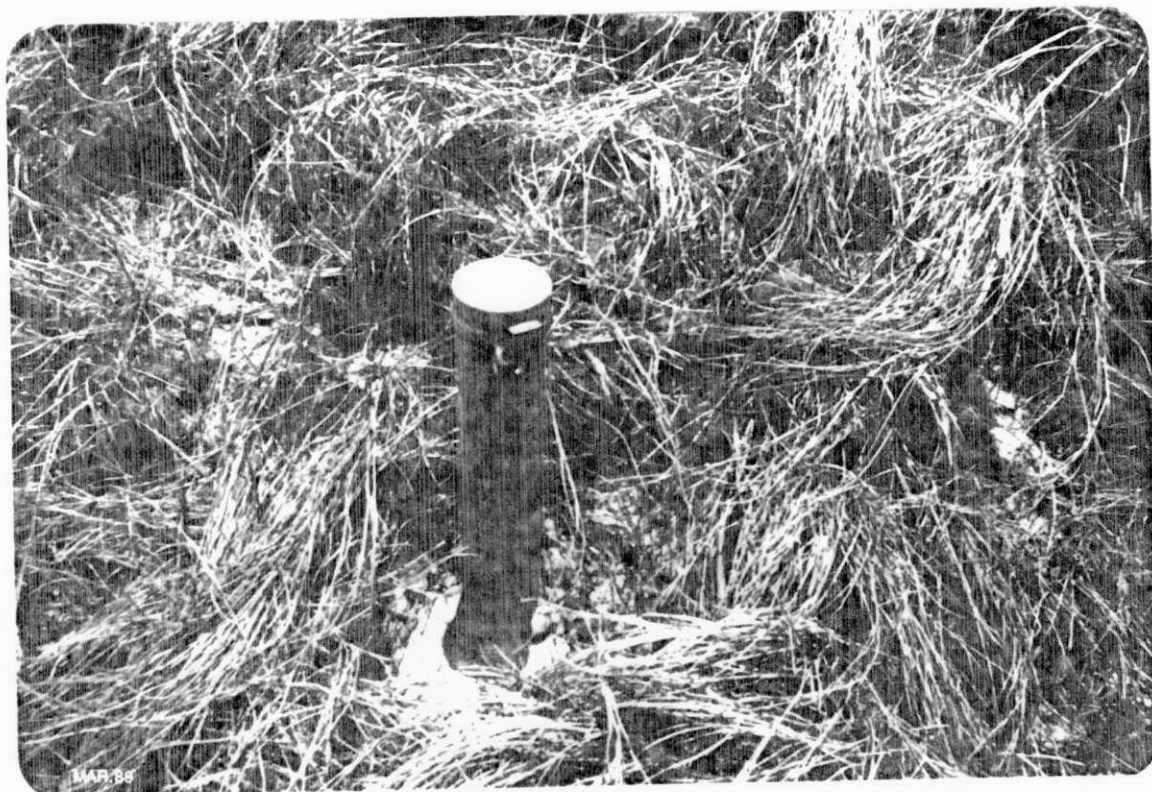


FOTO-5.5 - Proteção dos piezômetros Casagrande do sistema Gramame / Mamuaba, PEREIRA HENRIQUES, J. L. (1989) .

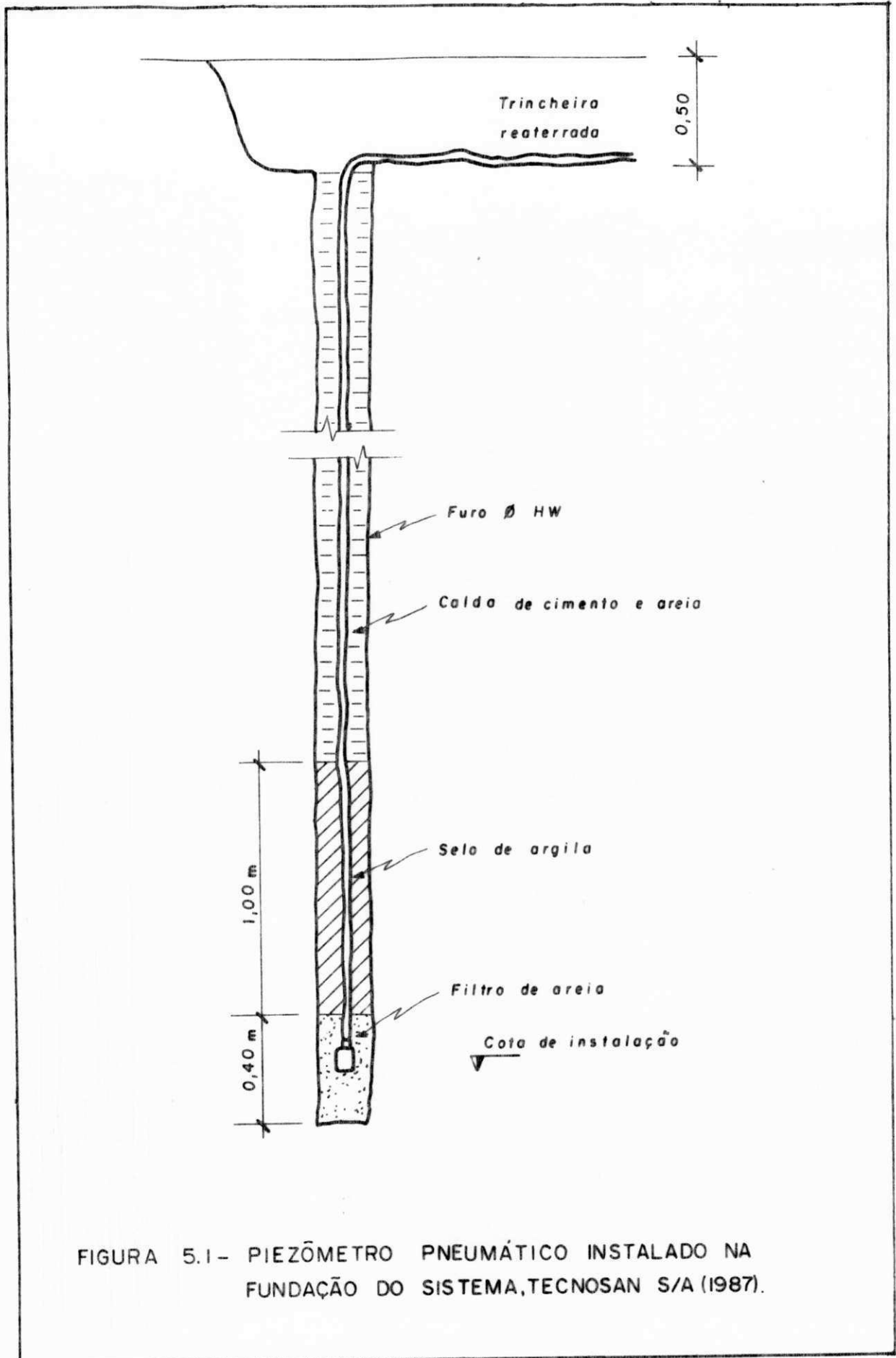


FIGURA 5.1- PIEZÔMETRO PNEUMÁTICO INSTALADO NA FUNDAÇÃO DO SISTEMA, TECNOSAN S/A (1987).

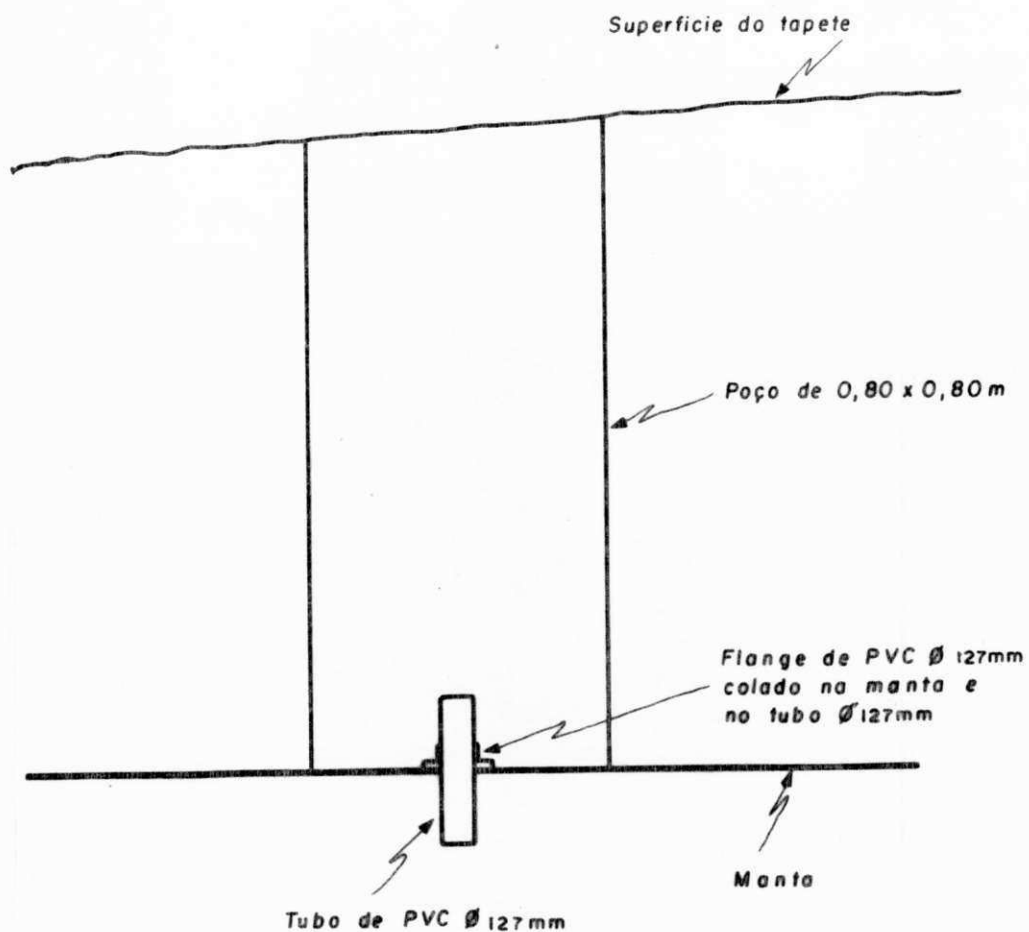


FIGURA 5.2 - INSTALAÇÃO DE PIEZÔMETRO PNEUMÁTICO DEBAIXO DA MANTA DE PVC, TECNOSAN S/A (1987).

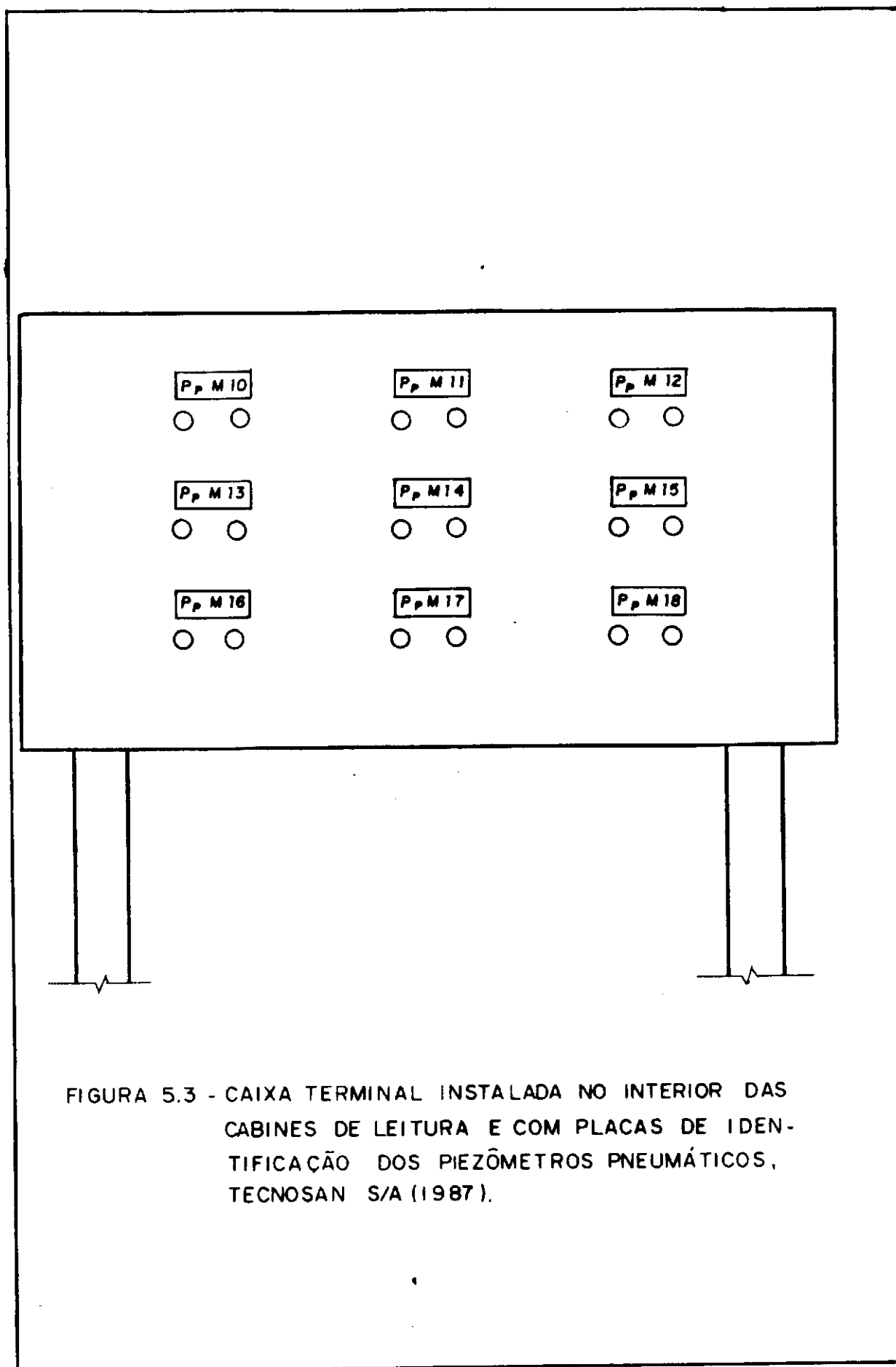


FIGURA 5.3 - CAIXA TERMINAL INSTALADA NO INTERIOR DAS CABINES DE LEITURA E COM PLACAS DE IDENTIFICAÇÃO DOS PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS, TECNOSAN S/A (1987).

BOLETIM DE INSTALAÇÃO PIEZÔMETRO PNEUMÁTICO

BARRAGEM GRAMAME

ESTACA : 22 + 11.00 LADO MONTANTE

AFASTAMENTO 3 30

COTA DE INSTALAÇÃO 15,91

COMPRIMENTO DOS TUBOS . 2 x 82m

DATA DE INSTALAÇÃO : 01-03-88

MATERIAL NO QUAL FOI INSTALADO ALUVIÃO

COORDENADAS N : 79.391.0130

E : 49.780.0055

DETALHE DE INSTALAÇÃO

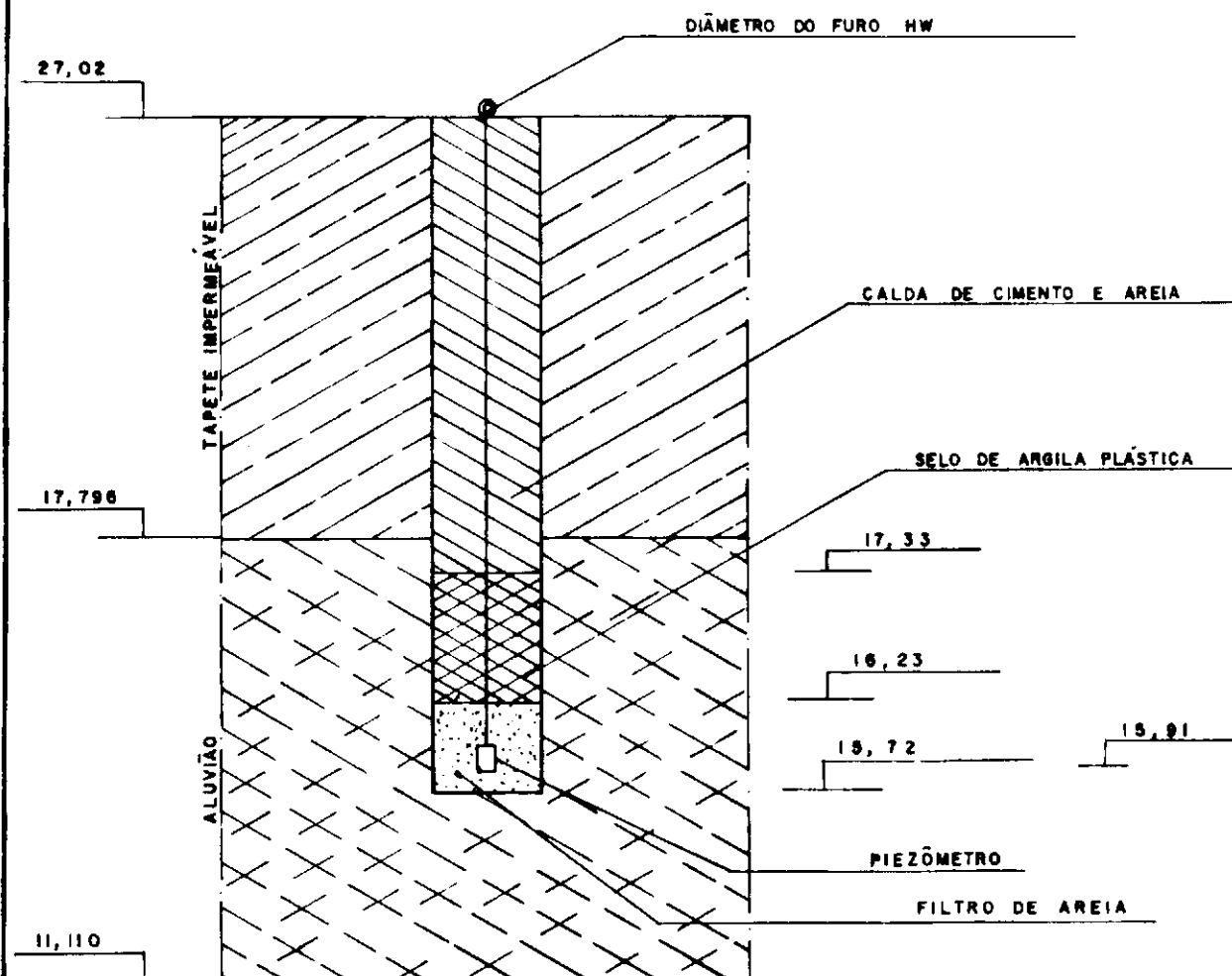


FIGURA 5.4 -BOLETIM DE INSTALAÇÃO DOS PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS DO SISTEMA GRAMAME / MAMUABA, REMY, J.P. (1989).

PERFIL DE INSTALAÇÃO—PIEZÔMETRO PNEUMÁTICO

LAJE L6 / 10C

AFASTAMENTO

DATA DE INSTALAÇÃO 16-12-87

COTA DE INSTALAÇÃO 13.22

COORDENADAS N 79.050.4134

E 49.928.6780

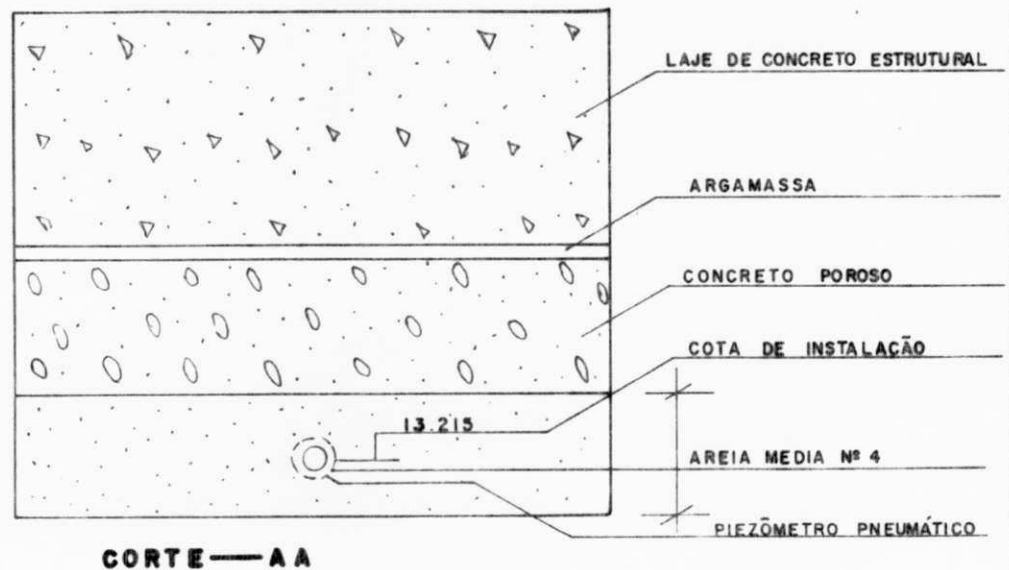
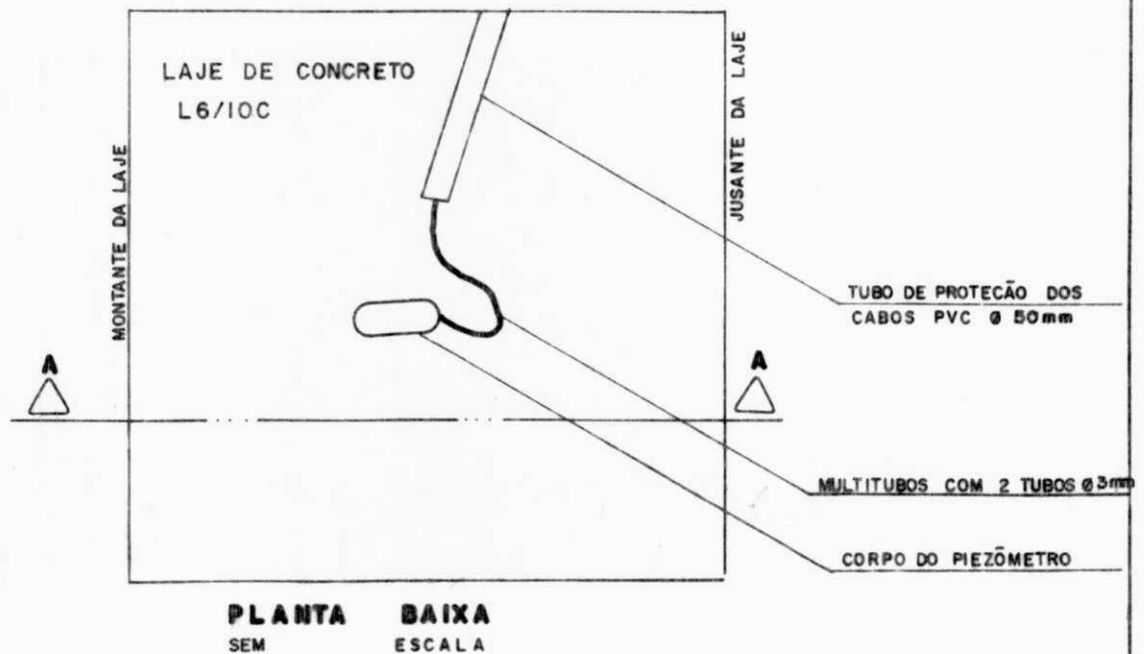
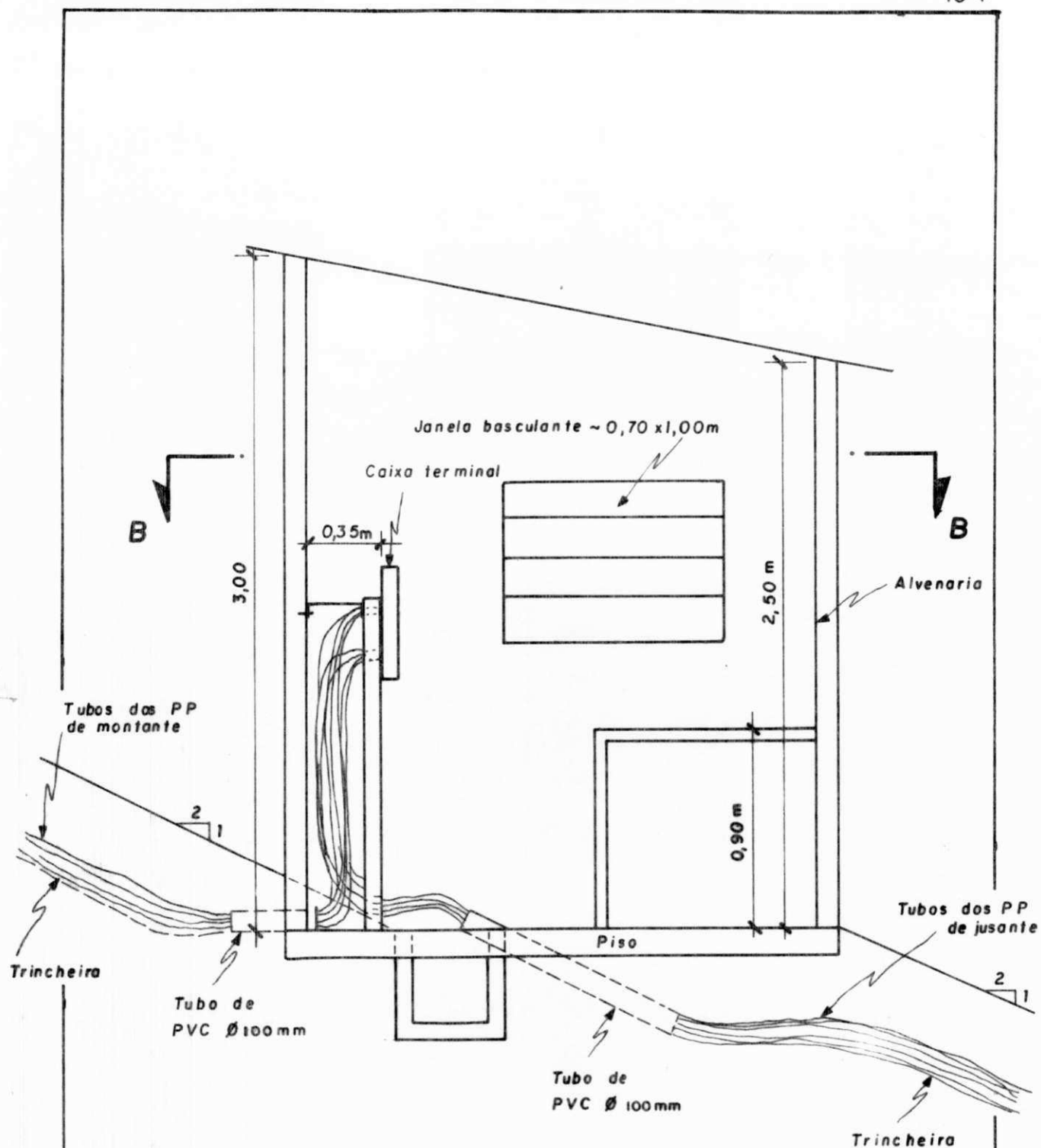


FIGURA 5.5 - PERFIL DE INSTALAÇÃO DOS PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS DO SISTEMA GRAMAME/MAMU - ABA ABAIXO DA LAJE DO SANGRADOURO, REMY, (1989)



SEÇÃO AA

FIGURA 5.6 - DETALHE DE CHEGADA DAS TUBULACÕES DOS PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS DO SISTEMA GRAMAME / MAMUABA, NA CABINE DE LEITURA, TECNOSAN S/A (1987).

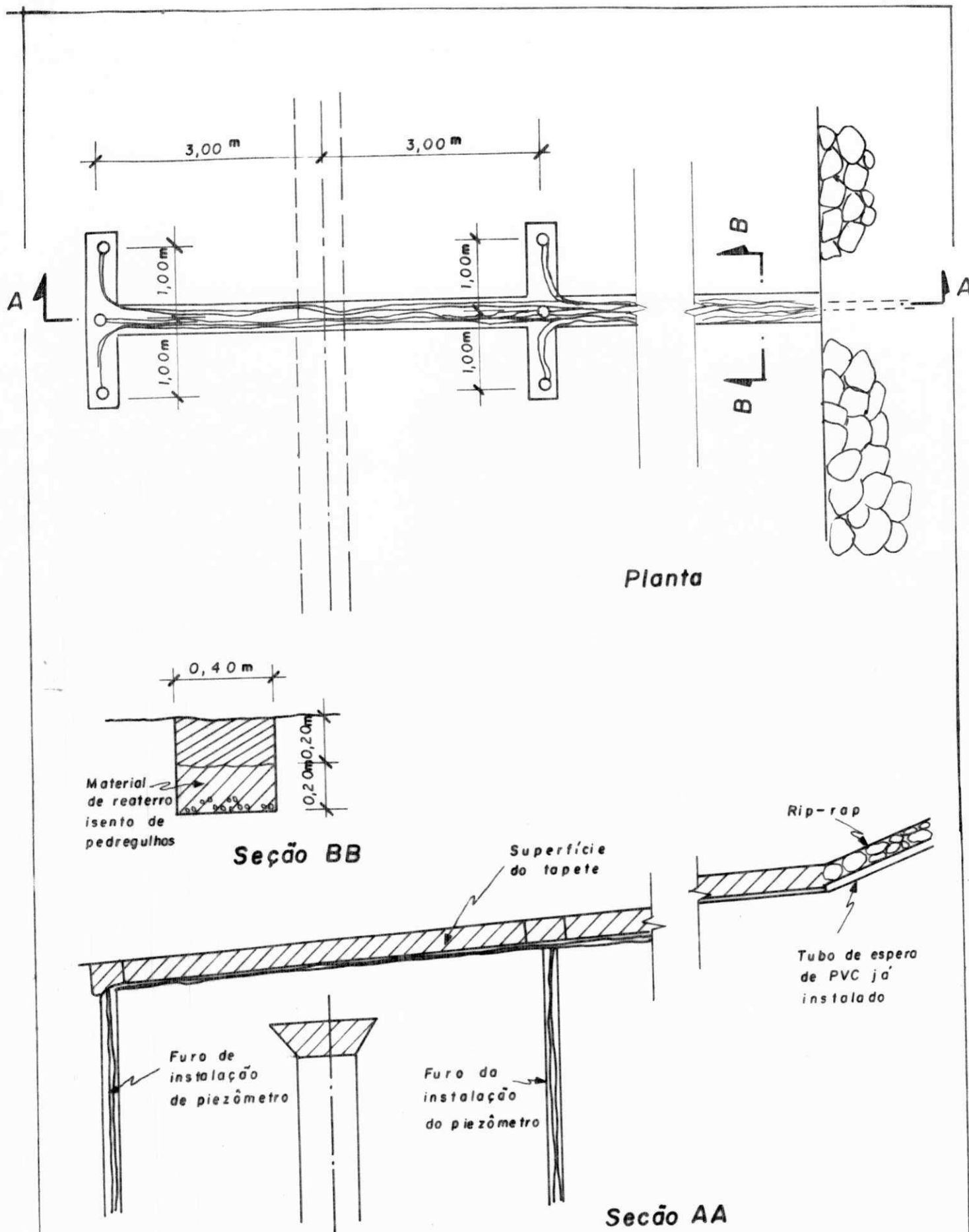
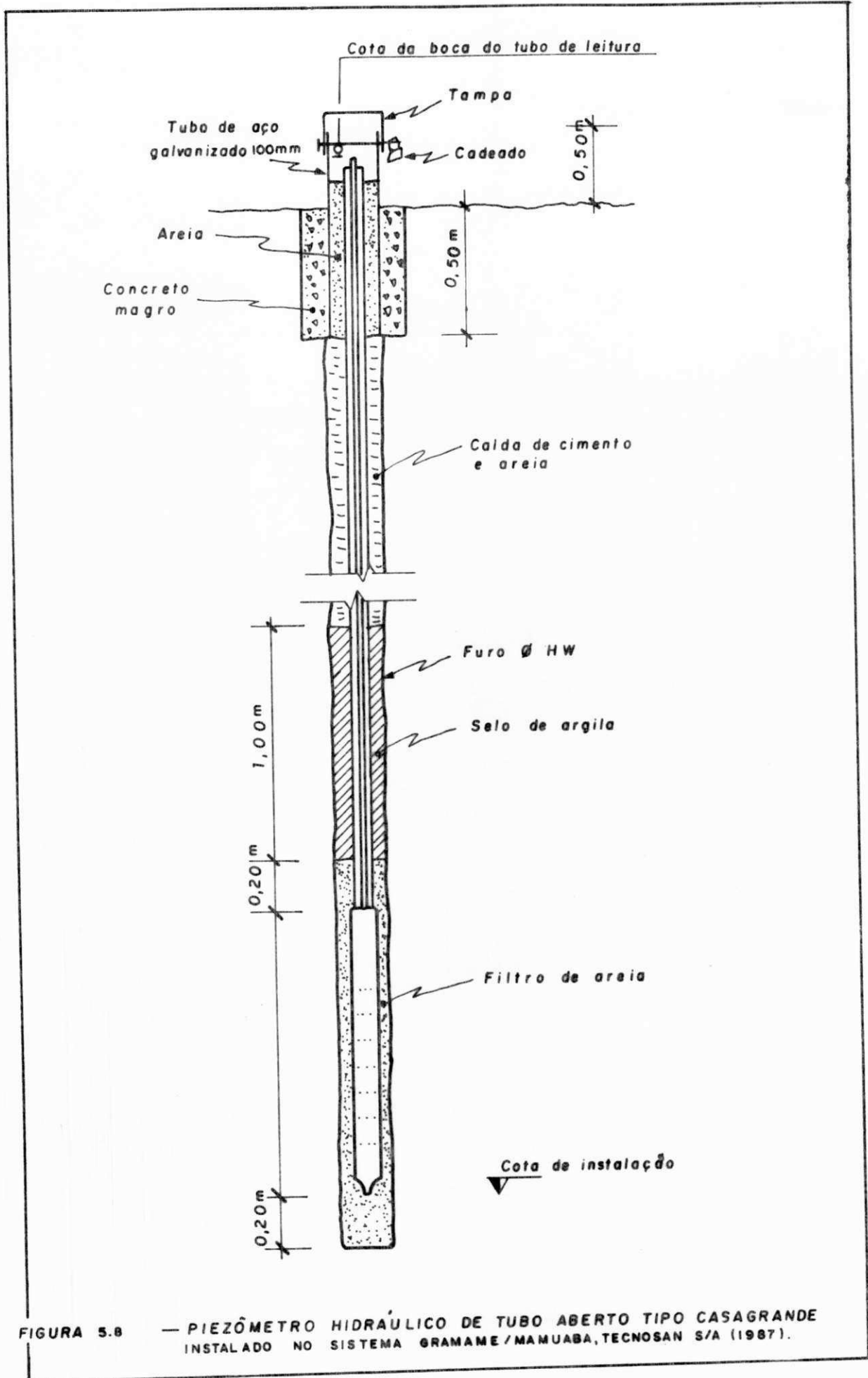


FIGURA 5.7 - INSTALAÇÃO E PROTEÇÃO DOS TUBOS DOS PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS DO SISTEMA GRAMAME/MAMUABA, TECNOSAN S/A (1987).



BOLETIM DE INSTALAÇÃO

PIEZÔMETRO CASAGRANDE

BARRAGEM : GRAMAME

ESTACA : 40A + 10,00 LADO : JUZANTE

AFASTAMENTO : 11.00

COTA DE INSTALAÇÃO : 15.00

COTA DA BOCA DO TUBO DE LEITURA : 36.648

DATA DE INSTALAÇÃO : 26 - 09 - 88

MATERIA NO QUAL FOI INSTALADO : ALUVIÃO

COORDENADAS N 79 041 0459

E 49. 905.2567

DETALHE DE INSTALAÇÃO

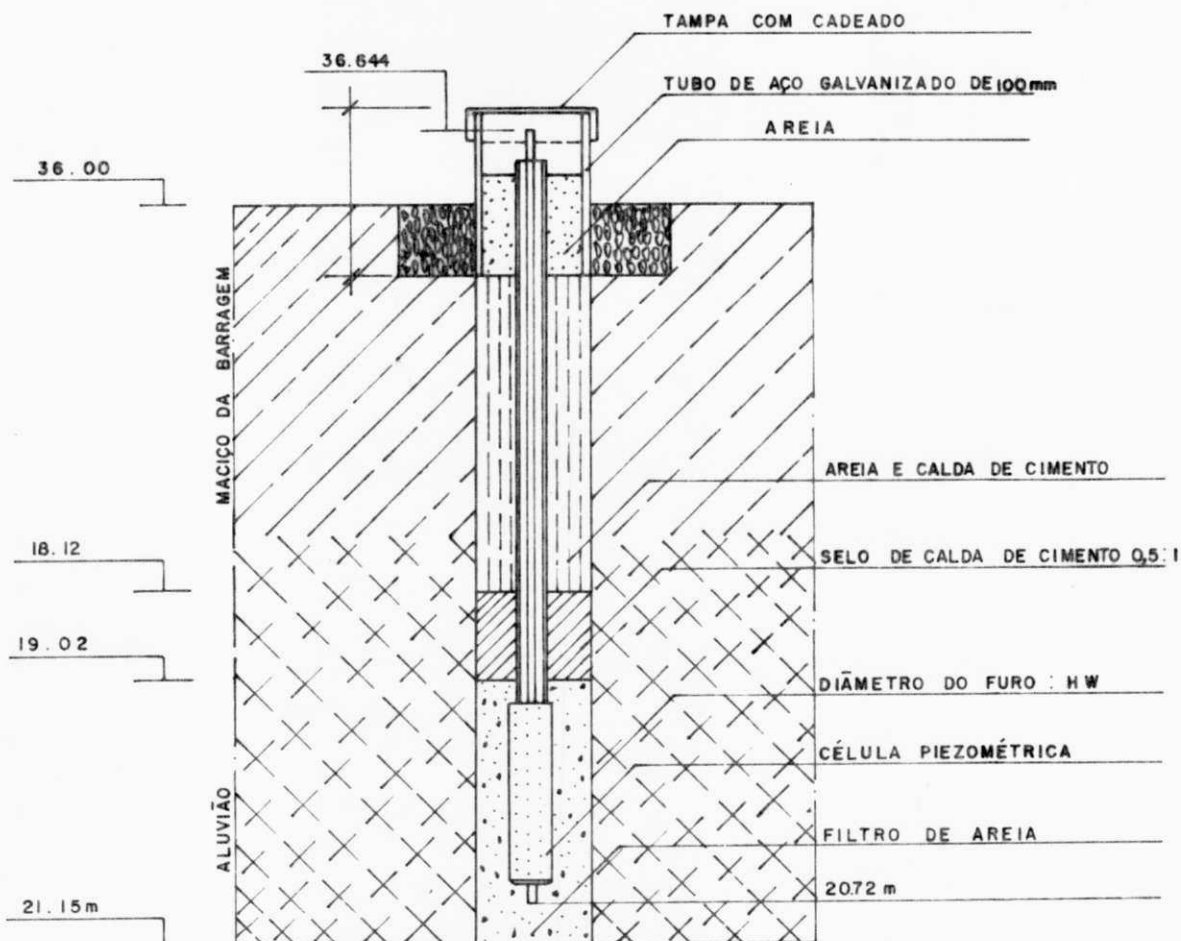


FIGURA 5.9 - BOLETIM DE INSTALAÇÃO DOS PIEZÔMETROS CASAGRANDE DO SISTEMA GRAMAME/MAMUABA, REMY, J.P. (1989).

TABELA Nº 6
ENSAIO DE DISSIPACÃO EM PIEZÔMETRO CASAGRANDE

BARRAGEM DE MAMUABA - PCM - 02

PIEZÔMETRO Nº	ESTAÇA	DATA DA INSTALAÇÃO	HORA INICIAL	DATA INÍCIO	
02	32 + 00	14.10.88	7:30	06.03.90	
NÍVEL PIEZÔMETRICO ANTES DO ENSAIO	AFASTAMENTO(m)	COTA DE INSTALAÇÃO(m)	HORA FINAL	DATA FINAL	
13,04	11,00 J	20,00	9:40	06.03.90	
t	LEITURAS (h) (m)	(H - h) (m)	(H - h ₀) (m)	$\frac{(H - h)}{(H - h_0)}$	OBSERVAÇÕES
antes do ensaio.	H= 13,04	-----	-----	-----	Cota 31
0	h ₀ =12,76	-----	0,28	-----	
30 seg	12,84	0,20	0,28	0,71	Cota da boca do
1 mim	12,86	0,18	0,28	0,64	tubo de leitura=
2	12,88	0,16	0,28	0,57	36.552
4	12,89	0,15	0,28	0,54	
6	12,89	0,15	0,28	0,54	
8	12,90	0,14	0,28	0,50	
15	12,90	0,14	0,28	0,50	
30	12,93	0,11	0,28	0,39	
1 h.	13,00	0,04	0,28	0,14	
2	13,04	0,0		0,0	

CÁLCULOS = PARA $(H - h) / (H - h_0) = 0.37$

T = horas

t 99% = 4.6 T = horas

TABELA Nº 7
ENSAIO DE DISSIPACÃO EM PIEZÔMETRO CASAGRANDE

BARRAGEM DE MAMUABA - PCM - 03

PIEZÔMETRO Nº PC 03		ESTACA 5 + 13	DATA DA INSTALAÇÃO 19.03.89	HORA INICIAL 3:23	DATA INÍCIO 24.10.89
NÍVEL PIEZÔMETRICO ANTES DO ENSAIO 16,46		AFASTAMENTO(m) 2,80 J	COTA DE INSTALAÇÃO(m) 15,00	HORA FINAL 5:23	DATA FINAL 24.10.89
t	LEITURAS (h) (m)	(H - h) (m)	(H - h ₀) (m)	$\frac{(H - h)}{(H - h_0)}$	OBSERVAÇÕES
Antes do Ensaio.	H= 16,46	---	-----	-----	Cota da barragem
n	h ₀ =15,00	-----	1,46	-----	= 32
30 seg	15,08	1,38	1,46	0,94	
1 min	15,10	1,36		0,93	Cota da boca do
2 min	15,23	1,23		0,84	tubo de leitura =
4 min	15,43	1,03		0,70	40.482 m.
6	15,59	0,87		0,60	
8	15,73	0,73		0,50	
15	16,06	0,40		0,27	
30	16,34	0,12		0,08	
1 h	16,42	0,04		0,03	
2	16,46	0,0		0,0	

CÁLCULOS = PARA $(H - h) / (H - h_0) = 0.37$

T = horas

t 99% = 4.6 T = horas

TABELA Nº 8
ENSAIO DE DISSIPACÃO EM PIEZÔMETRO CASAGRANDE

BARRAGEM DE GRAMAME - PCG-03

PIEZÔMETRO Nº		ESTACA	DATA DA INSTALAÇÃO		HORA INICIAL	DATA INÍCIO
03		40A + 00	21.09 88		10:20	13.12.89
NÍVEL PIEZÔMETRICO ANTES DO ENSAIO		AFASTAMENTO(m)	COTA DE INSTALAÇÃO(m)		HORA FINAL	DATA FINAL
13,94		11,00 J	15,00		12:10	13.12.89
t	LEITURAS (h) (m)	(H - h) (m)	(H - h ₀) (m)	$\frac{(H - h)}{(H - h_0)}$	OBSERVAÇÕES	
antes do ensaio	H= 13,94	-----	-----	-----		
0	h ₀ = 12,45	-----	1,49	-----		
30 seg	12,46	1,48	1,49	0,99	Cota da boca do	
1 mim	12,47	1,47		0,98	tubo de leitura=	
2	12,51	1,43		0,96	36.644	
4	12,62	1,32		0,88		
6	12,72	1,22		0,82		
8	12,82	1,12		0,75		
15	13,11	0,83		0,56		
30	13,48	0,46		0,31		
1 h.	13,78	0,16		0,11		
2 h.	13,94	0,0		0,0		

CÁLCULOS = PARA $(H - h) / (H - h_0) = 0.37$

T = horas

t 99% = 4.6 T = horas

TABELA Nº 9
ENSAIO DE DISSIPACÃO EM PIEZÔMETRO CASAGRANDE

BARRAGEM DE GRAMAME - PCG-05

PIEZÔMETRO Nº	ESTACA	DATA DA INSTALAÇÃO	HORA INICIAL	DATA INÍCIO	
05	16 + 0,00	15.09.88	10:00	07.03.90	
NÍVEL PIEZÔMETRICO ANTES DO ENSAIO	AFASTAMENTO(m)	COTA DE INSTALAÇÃO(m)	HORA FINAL	DATA FINAL	
13,57	11,00 J	20,00	12:10	07.03.90	
t	LEITURAS (h) (m)	(H - h) (m)	(H - h ₀) (m)	$\frac{(H - h)}{(H - h_0)}$	OBSERVAÇÕES
antes do ensaio	H= 13,57	-----	-----	-----	
0	h ₀ = 12,39	-----	1,18	0,94	Cota da boca do
30 seg	12,46	1,11	1,18	0,93	tubo de leitura =
1 mim	12,54	1,03		0,87	36.774
2	12,64	0,93		0,79	
4	12,82	0,75		0,64	31,8
6	12,95	0,62		0,52	
8	13,04	0,53		0,45	
15	13,27	0,30		0,25	
30	13,42	0,15		0,13	
1 h.	13,47	0,10		0,08	
2 h.	13,57	0,0		0,0	

CÁLCULOS = PARA $(H - h) / (H - h_0) = 0.37$

T = horas

t 99% = 4.6 T = horas

TABELA Nº 10
ENSAIO DE DISSIPACÃO EM PIEZÔMETRO CASAGRANDE

BARRAGEM DE GRAMAME - PCG-07

PIEZÔMETRO Nº	ESTACA	DATA DA INSTALAÇÃO	HORA INICIAL	DATA INÍCIO	
07	47A + 18		7:48	16.03.90	
NÍVEL PIEZÔMETRICO ANTES DO ENSAIO	AFASTAMENTO(m)	COTA DE INSTALAÇÃO(m)	HORA FINAL	DATA FINAL	
11,18	11,00 J	19,00	9:48	16.03.90	
t	LEITURAS (h) (m)	(H - h) (m)	(H - h ₀) (m)	$\frac{(H - h)}{(H - h_0)}$	OBSERVAÇÕES
antes do ensaio	H= 11,18	-----	-----	-----	
0	h ₀ = 9,75	-----	1,43	-----	
30 seg	9,80	1,38	1,43	0,96	
1 mim	9,83	1,35		0,94	
2	9,98	1,20		0,84	
4	10,23	0,95		0,66	
6	10,41	0,77		0,54	
8	10,56	0,62		0,43	
15 .	10,88	0,30		0,21	
30	11,07	0,11		1,08	
1 h.	11,14	0,04		0,03	
2 h.	11,18	0,0		0,0	

CÁLCULOS = PARA $(H - h) / (H - h_0) = 0.37$

T = horas

† 99% = 4.6 T = horas

GRÁFICO Nº 1 - ENSAIO DE DISSIPACÃO DO PIEZÔMETRO
CASAGRANDE DE MAMUABA - PCM 02

$$(H - h) / (H - h_0) = 0,37$$

TEMPO DE RETARDO BÁSICO $T = 32 \text{ min.}$

TEMPO DE RESPOSTA $t_{99\%} = 4,6 T =$

$t_{99\%} = 147,2 \text{ min.}$

(1h , 47 min e 2 seg)

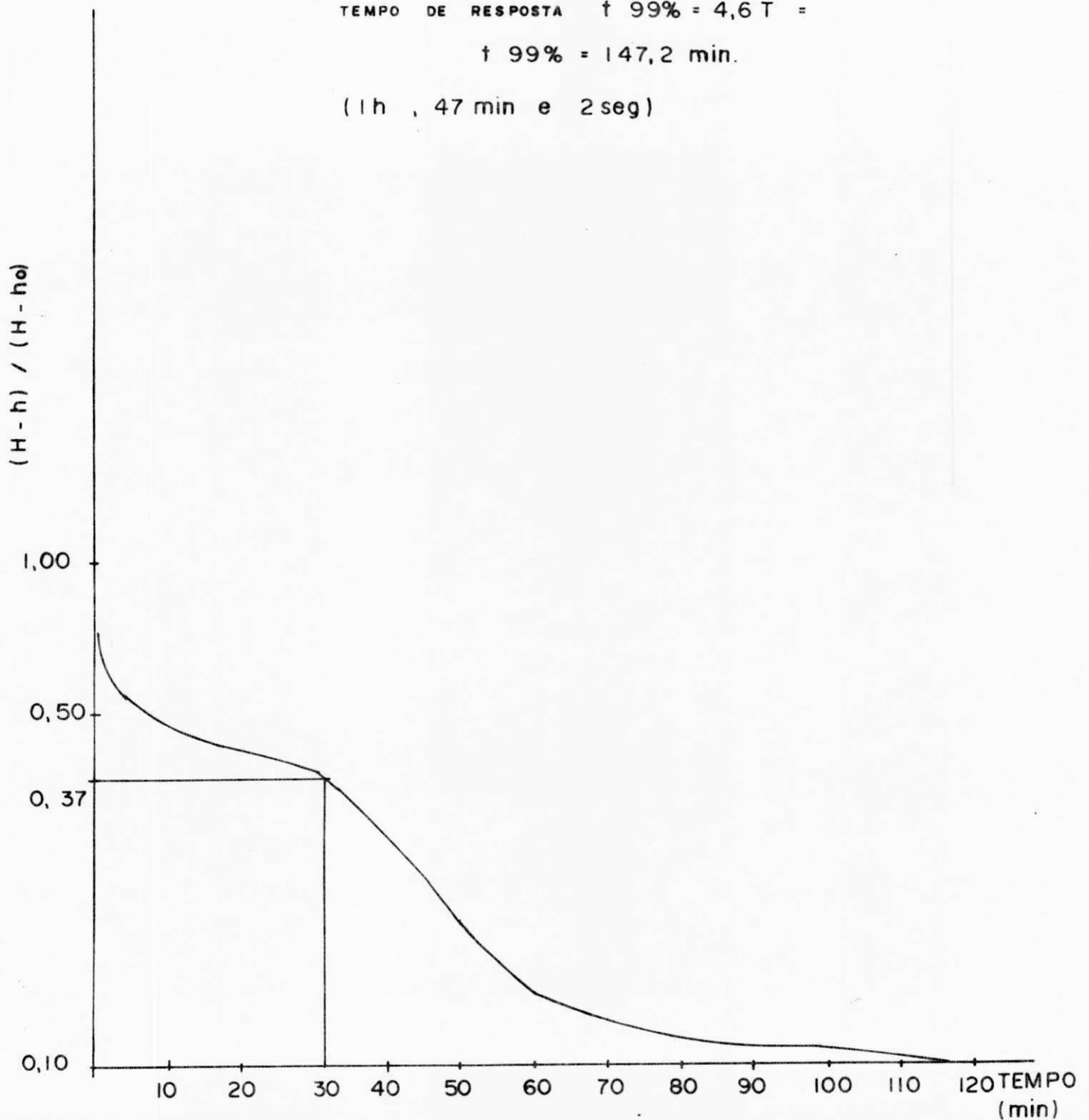


GRÁFICO Nº2 - ENSAIO DE DISSIPACÃO DO PIEZÔMETRO
CASAGRANDE DE MAMUABA - PCM 03

TEMPO DE RETARDO BÁSICO

T = 12 min.

TEMPO DE RESPOSTA † 99% = 55,2

(55 min e 2seg)

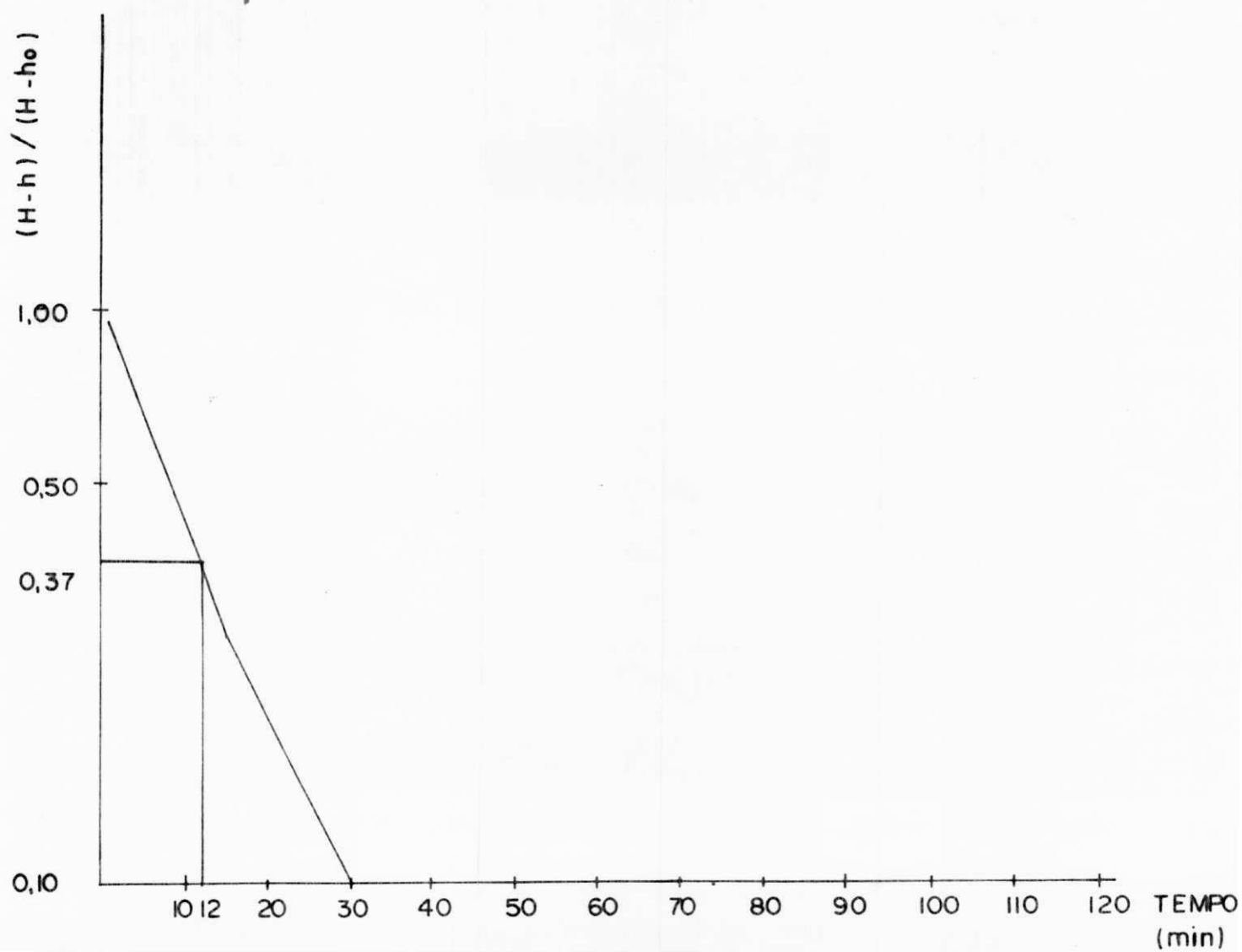


GRÁFICO Nº 3 - ENSAIO DE DISSIPACÃO DO PIEZÔMETRO
CASAGRANDE DE GRAMAME - PCG 03

TÉMPORO DE RETARDO BÁSICO $T = 26\text{min.}$

TEMPO DE RESPOSTA $\uparrow 99\% = 110,4\text{min.}$

(1h, 50min e 24seg)

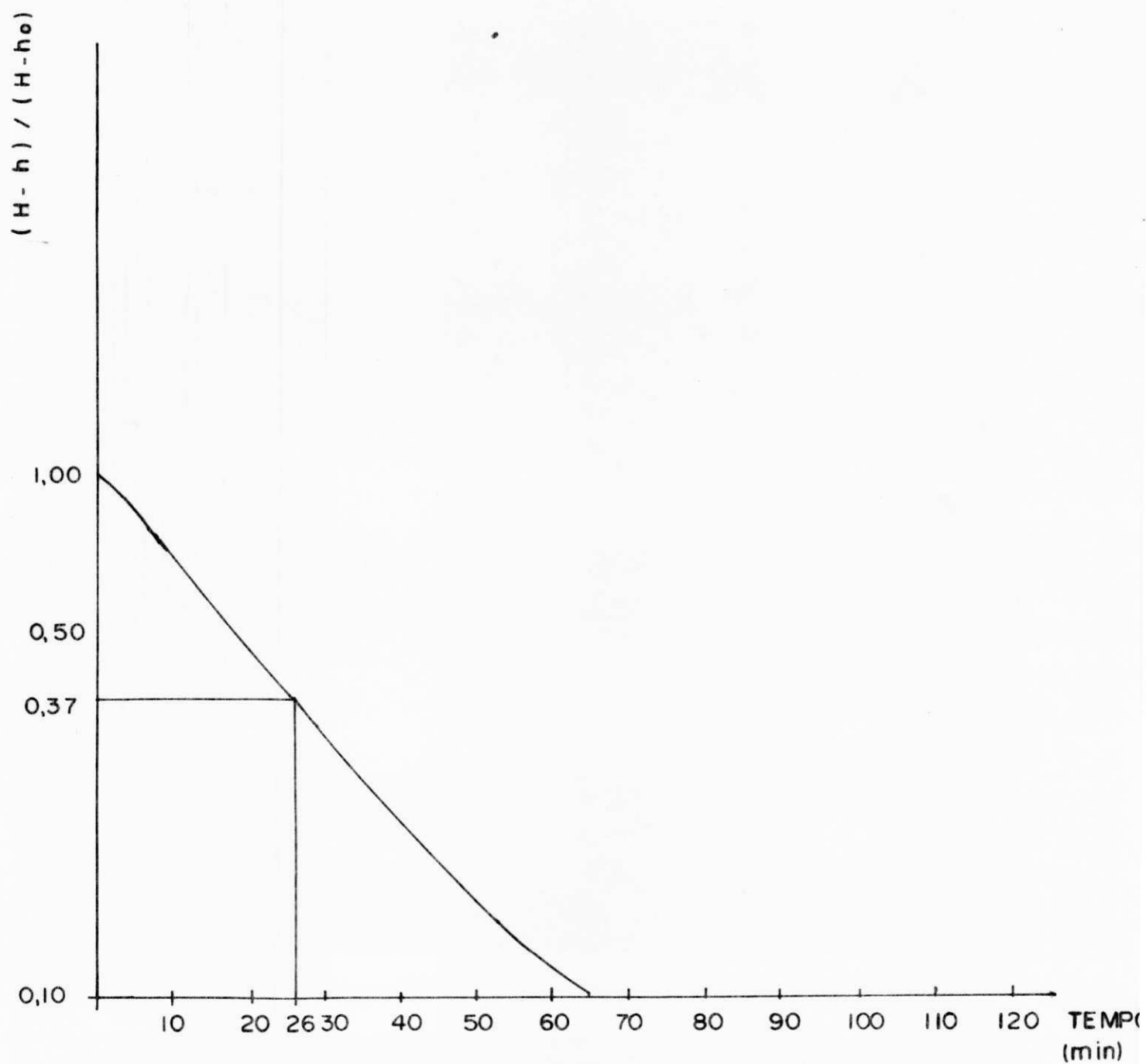


GRÁFICO Nº 4 – ENSAIO DE DISSIPACÃO DO PIEZÔMETRO
CASAGRANDE DE GRAMAME - PCG 05

TEMPO DE RETARDO $T = 10 \text{ min.}$

TEMPO DE RESPOSTA $\uparrow 99\% = 46 \text{ min.}$

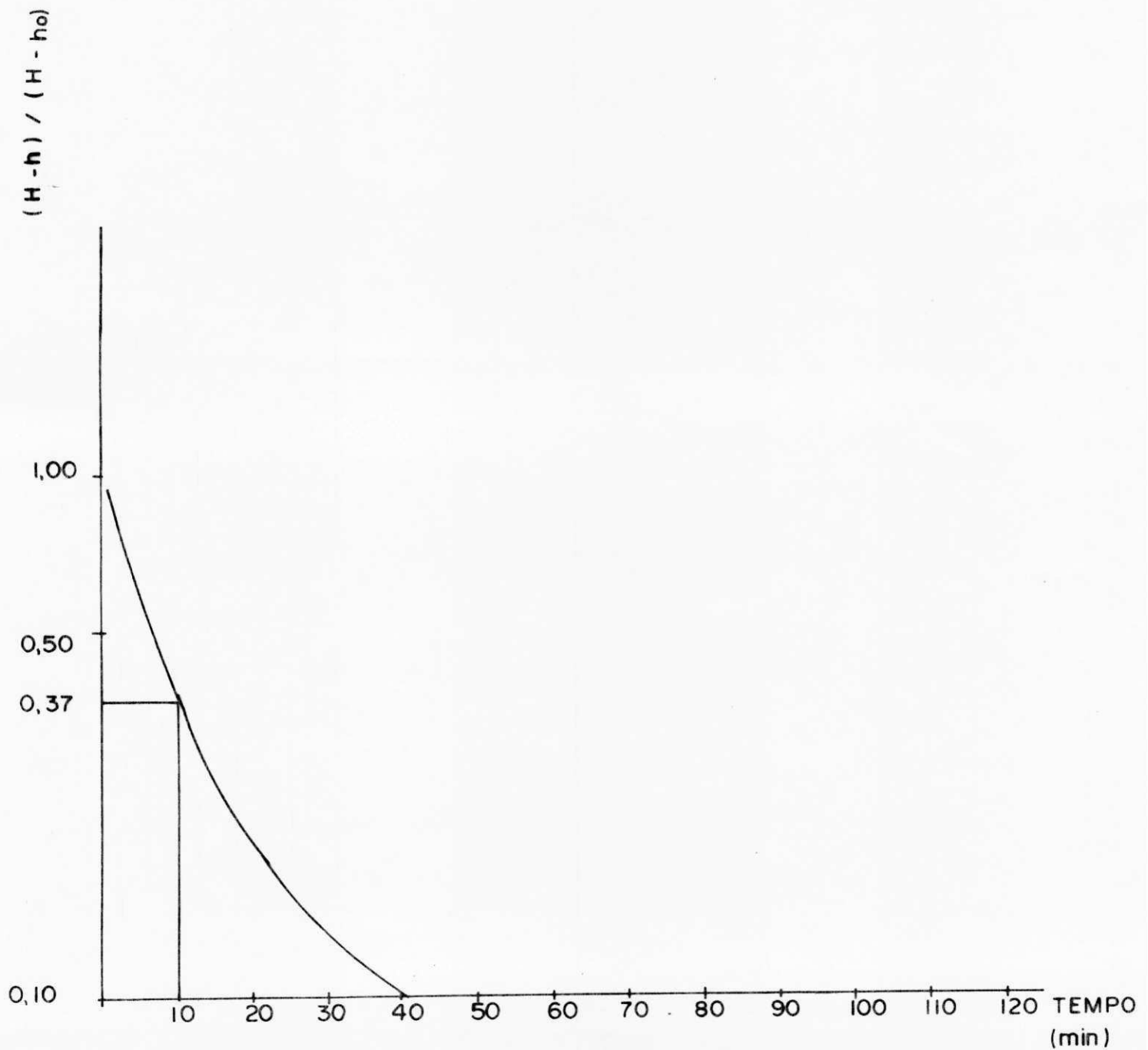
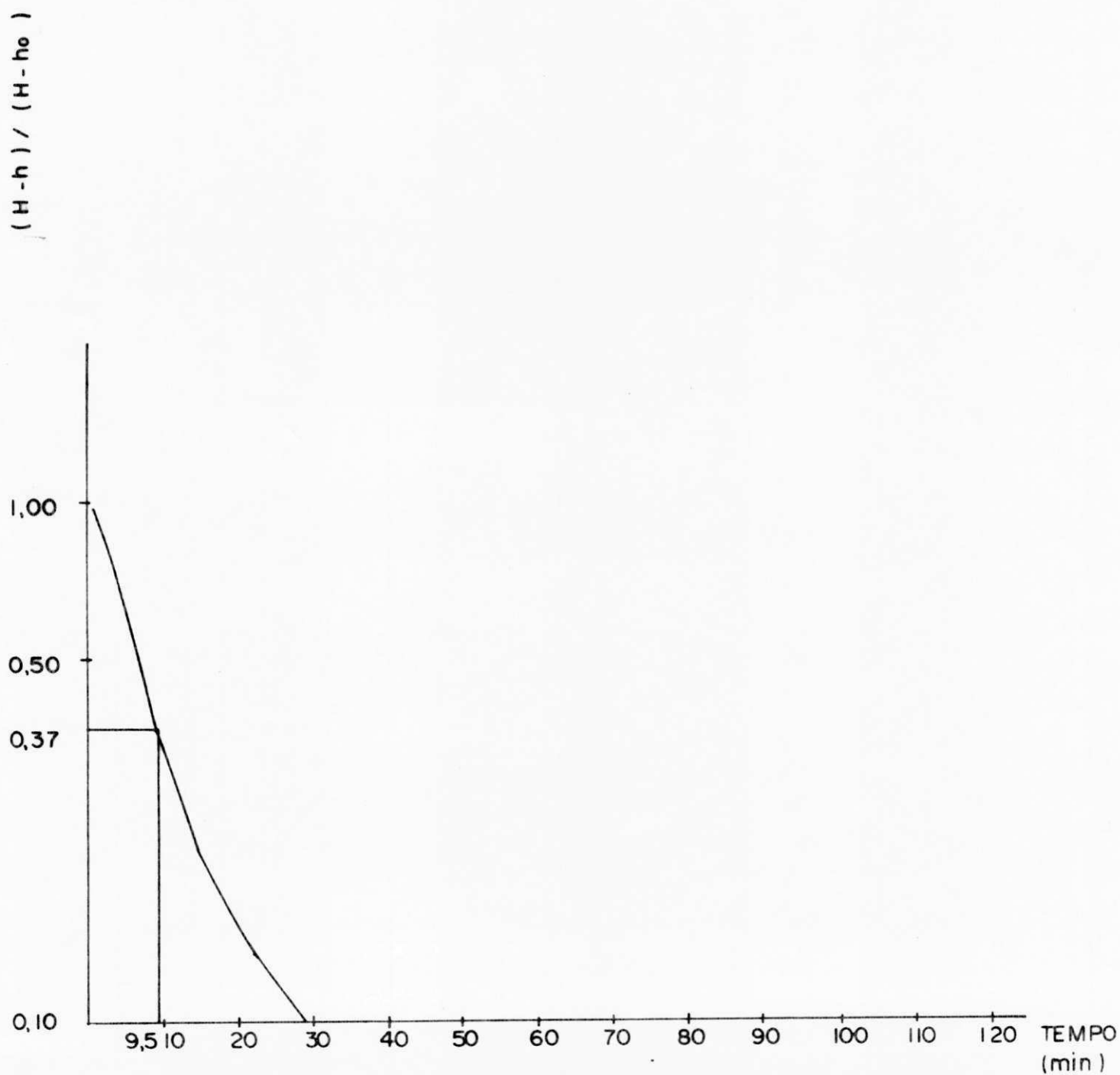


GRAFICO Nº 5 - ENSAIO DE DISSIPACÃO DO PIEZÔMETRO
CASAGRANDE DE GRAMAME - PCG 07

TEMPO DE RETARDO BÁSICO $T = 9,5$ min.
(2 min. e 30 seg.)

TEMPO DE RESPOSTA $\dagger 99\%$ $t = 43,7$ min.
(43 min. e 42 seg.)



CAPÍTULO 6

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.1- Introdução

Neste capítulo, comentam-se as instalações dos piezômetros Pneumáticos e Casagrande e habilidades para funcionamento; apresentam-se as tabelas com seus respectivos gráficos; apresenta-se todos os dados de campo obtidos durante o período de leitura em tabelas sumarizadas e faz-se a discussão dos resultados através dos dados das seções escolhidas (uma em cada barragem).

6.2- Comentários sobre a Instalação dos Piezômetros

Segundo Coutinho (1986) e Remy (1989), após a instalação e ligação dos tubos dos piezômetros Pneumáticos à caixa terminal para leitura, deve-se fazer verificação de retorno com gás ou com água para constatar se as ligações não estão com vazamento ou se não há outro tipo de defeito nas ligações e proteção dos tubos dos piezômetros.

Percebeu-se claramente que, na instalação e ligação dos piezômetros pneumáticos colocados no sistema das barragens Gramame/Mamuaba, esse procedimento não foi seguido, visto que encontraram-se vários piezômetros vazando como os de números 23 e 24, em Gramame e 01, 06 e 16 em Mamuaba, por ligações mal executadas nos encontros finais dos tubos com os engates rápidos para conexão das leituras. Outros como os PFG 13 e PPM 04 não foram ligados à caixa terminal para leitura. Também, todos os instrumentos instalados no sangradouro da barragem Gramame, PFG 28 a PFG 32, localizados abaixo da laje deste, que formavam uma seção a mais do que em Mamuaba, não puderam ser medidos. Supõe-se que houve estrangulamento nos condutos de circulação do gás, visto que aplicou-se uma pressão até excessiva 0,9 MPa (9,0 kgf/cm²) e não houve retorno do gás para mover o fluxômetro.

Os piezômetros Casagrande, devido a sua simplicidade nas ligações dos tubos de leitura e a impossibilidade de percorrer caminhos horizontais, não

apresentaram defeitos de ligações, nem de estrangulamento. Portanto, em todos os piezômetros deste tipo, foram executadas as leituras normalmente.

6.3- Período de Leitura e Resultados Obtidos

As primeiras leituras foram efetuadas a partir de outubro de 1989. Prosseguiram-se as leituras até setembro de 1991. Em janeiro de 1992, fez-se uma única leitura, para verificação da correção de alguns dados.

O período de outubro/89 a fevereiro/90, foi considerado como de reconhecimento e treinamento não se computando as leituras desta época.

O período de leitura dos dados apresentados é, portanto, de março/90 a setembro/91. Entretanto os piezômetros Pneumáticos ficaram de junho/90 a outubro deste mesmo ano sem que se efetuassem leituras, devido ao fluxômetro ter apresentado rachaduras no seu interior, impossibilitando as leituras corretas.

Os dados dos piezômetros pneumáticos, e Casagrande tanto de Gramame como de Mamuaba, estão apresentados nas TABELAS sumarizadas de números 11, 12, e 13 no final deste capítulo. Os dados completos estão nas folhas de leituras apresentadas no anexo.

Os resultados de poro-pressão dos piezômetros pneumáticos para a barragem do Gramame, estão apresentados no GRÁFICO Nº 6 (nível piezométrico e nível d'água em função do tempo plotado mês a mês, TABELA Nº 14) e no GRÁFICO Nº 7, (nível piezométrico dos piezômetros PPG 19, PPG 22, PPG 25, PPG 26 e PPG 27, ao longo de quatro meses, todos situados numa mesma posição em relação ao nível do terreno natural, TABELA Nº 15). O nível d'água nesse gráfico está indicado em função dos quatro meses.

Para Mamuaba, os resultados de poro-pressão dos piezômetros pneumáticos, e do nível d'água, estão apresentados respectivamente nos GRÁFICOS Nº 8 e Nº 9, plotados da mesma forma que em Gramame. Também esses, apresentam TABELAS Nº 16 e Nº 17, respectivamente.

Deve-se salientar que, para a execução dos gráficos, escolheu-se uma seção em cada barragem, respectivamente 21 + 0,00 para Gramame e 7 + 10,00 para Mamuaba. Foram escolhidas as que possuíam o maior número de piezômetros pneumáticos sem problemas e com o maior número de leituras.

Os resultados de poro-pressão através dos piezômetros Casagrande, tanto na barragem do Gramame como em Mamuaba, estão apresentados nos GRÁFICOS Nº 10 e Nº 11, respectivamente plotados com o nível piezométrico em função do tempo mês a mês. Também nestes gráficos, apresentam-se o nível d'água em função do tempo mês a mês. Para estes gráficos os dados estão apresentados na TABELA Nº 13.

6.4- Discussão dos Resultados

Uma análise dos resultados das observações dos acréscimos de poro-pressão dos piezômetros pneumáticos, tanto em Gramame como em Mamuaba, torna possível as seguintes considerações:

(1) observou-se que no mês de abril todos os piezômetros, exceto a feita apenas para o PPG 25, tiveram um aumento de poro-pressão em relação ao mês anterior (março) e logo no mês seguinte apresentaram quedas acentuadas, voltando o nível de poro-pressão praticamente ao primeiro mês: apesar do nível d'água continuar neste mês (maio) a subir (ver GRÁFICOS Nº 6 e Nº 8). Credita-se este acentuado aumento de poro-pressão, ao ar acumulado dentro do tubo de leitura;

(2) esse mesmo aumento de poro-pressão, verificou-se nos meses de novembro, dezembro e janeiro, no GRÁFICO Nº 6, quando se passou o período de cinco meses sem leituras;

(3) através dos GRÁFICOS Nº 6 e Nº 8 observa-se que, nos piezômetros pneumáticos, as pressões intersticiais em geral aumentam gradualmente com o aumento do volume de água, havendo uma variação linear de ΔU com o nível d'água;

(4) através dos GRÁFICOS Nº 6 e Nº 8, verifica-se também, que o aumento da poro-pressão não se dá imediatamente ao aumento do nível d'água. Isso só se

verifica um ou até dois meses após aumento do pico do nível d'água;

(5) os piezômetros PPG 19 e PPM 19, localizados a montante da parede diafragma, portanto submetidos a maior nível de pressão devido ao maior volume d'água em torno da célula piezométrica, apresentaram maior valor para a poro-pressão ao longo do tempo, com algumas variações;

(6) observou-se que os piezômetros PPG(s) e PPM(s) 26 e 27, localizados a jusante da parede diafragma e distantes 21,00 e 41,00 m do eixo da barragem, apresentaram níveis piezométricos bastantes próximos uns dos outros, apesar do piezômetro 26 estar sob um maior volume de aterro. Para pequenas variações de níveis d'água e pequenos volumes de aterro, a variação da poro-pressão é quase insignificante;

(7) no GRÁFICO Nº 9 de Mamuaba, todas as variações do nível piezométrico se comportaram como esperado, isto é, apresentando variação da poro-pressão a montante da parede diafragma e diminuindo a jusante; voltando a crescer sob o eixo do maciço e diminuindo ao longo desse;

(8) no GRÁFICO Nº 7 de Gramame, os níveis piezométricos de março/90 e março/91, não apresentaram regularidades no seu comportamento; o nível piezométrico do instrumento PPG 25 apresentou queda na variação da poro-pressão, quando deveria apresentar alta; houve coerência nas variações dos instrumentos PPG 26 e PPG 27. Também o nível piezométrico em março/91 à montante da parede diafragma é menor que a jusante desta, apresentando desta forma, uma incoerência ou erro de leitura.

Analisando os resultados das variações de poro-pressão dos piezômetros Casagrande, tanto na barragem do Gramame, como em Mamuaba, fazem-se os seguintes comentários:

(1) observou-se que o PCG 01, situado após o sangradouro e distante 10,00 m do eixo da barragem, tem sua variação de poro-pressão praticamente anômala, devido a não influência do nível d'água da barragem na sua célula piezométrica, ocasionado por sua localização;

(2) os piezômetros PCG 04 e PCG 08, localizados à direita e à esquerda do sangradouro em uma área plana do terreno natural à jusante da barragem e distantes 78,00 e

65,00 m do eixo respectivamente, apresentaram poucas variações de poro-pressão; esses piezômetros como se situam em cotas baixas do terreno, recebem influência da água externa, além da percolação interna, seus níveis piezométrico são praticamente constantes;

(3) o piezômetro PCG 07, situado à direita do sangradouro, numa área onde a parede diafragma não foi construída, portanto sem influência desta no barramento do fluxo normal d'água, possui uma variação acentuada do seu nível piezométrico, apesar da sua localização. Como está instalado numa cota muito baixa, 19,00 m, deve receber influência do nível d'água na sua variação da poro-pressão;

(4) os piezômetros PCG 05 e PCG 06, situados na ombreira direita do maciço, como se situam numa área que recebem influência do nível d'água, têm as variações das poro-pressões, concomitantes com o nível d'água para mais ou para menos;

(5) os instrumentos PCM 01 e PCM 02, localizados na ombreira direita do maciço e instalados numa mesma cota, 20,00 m, possuem suas variações do nível piezométrico, praticamente paralelos, conferindo assim suas normalidades. Apesar de estarem à jusante da parede diafragma, seus níveis piezométricos variaram concomitantemente com o nível d'água;

(6) os piezômetros PCM 06 e PCM 07, localizados na ombreira direita do Mamuaba, e com as mesmas cotas de instalação, tiveram variações de poro-pressão diferentes, quando deveriam apresentar valores paralelos. Atribui-se essa diferença a proximidade do PCM 06 com a bateria de poços de alívio. Certamente os poços de alívio influenciaram na variação do nível piezométrico, neste piezômetro;

(7) o piezômetro PCM 04 praticamente não variou no seu nível, devido a sua localização;

(8) os piezômetros PCM 03 e PCM 05, localizados no coroamento direito do maciço e instalados numa mesma cota, 15,00 m, apresentaram variações de poro-pressões paralelas, com pouca influência do nível d'água de montante.

	PIEZÔMETRO (PPG)	COTA DE INSTA- LAÇÃO	TABELA Nº 11 PRESSÃO INTERSTICIAL DOS PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS DA BARRAGEM DO GRAMAME (Kgf/cm ²)													
			ANO 1990					ANO 1991								
			MAR.	ABR.	MAI.	NOV.	DEZ.	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.
CABINE 01	01	13,29	2,55	2,62	2,78	3,70	3,80	3,60	3,60	2,90	2,90	2,95	2,30	2,30	3,53	3,75
	02	11,60	2,38	2,75	2,60	3,85	3,85	3,60	3,75	3,05	3,20	3,20	3,30	3,30	3,67	3,80
	03	9,87	1,05	2,65	3,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	04	14,02	1,20	1,42	1,75	3,35	2,85	2,70	2,90	1,65	1,65	2,00	1,95	1,95	2,45	2,60
	05	12,04	1,45	1,78	2,38	4,00	3,80	3,70	3,70	2,20	2,15	2,45	2,20	2,20	2,73	3,20
	06	9,71	2,20	2,80	3,02	3,80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	07	14,98	1,45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	08	14,57	0,55	0,73	1,42	2,30	2,00	1,95	1,85	-	-	-	-	-	-	-
	09	13,83	1,32	1,45	1,88	2,50	2,40	2,25	2,20	1,70	1,70	1,75	1,75	1,75	1,97	2,25
CABINE 02	10	15,22	1,90	2,20	2,02	-	-	-	-	4,25	5,25	6,10	5,90	5,45	5,80	8,00
	11	13,04	2,25	2,92	2,18	-	-	-	-	4,50	5,55	6,35	6,65	6,45	6,83	6,40
	14	13,00	3,48	2,25	2,00	3,95	3,95	3,35	3,40	3,35	2,70	2,95	2,80	2,90	2,93	3,00
	15	9,13	2,20	2,22	1,95	3,45	3,60	3,30	3,00	2,60	2,70	3,00	2,80	2,80	3,02	3,20
	17	15,70	1,05	1,38	1,30	3,20	3,30	2,70	2,30	1,70	1,80	2,05	1,95	1,95	2,07	2,05
	18	15,63	1,00	1,25	1,15	3,05	3,00	2,55	2,20	1,45	1,65	1,90	1,70	1,75	1,80	-
CABINE 03	19	15,05	3,18	3,65	3,08	4,90	5,15	4,45	3,90	3,30	3,50	3,50	3,70	3,60	3,77	3,80
	20	13,13	3,00	3,00	2,92	3,75	4,00	3,75	3,60	3,45	3,50	3,50	3,60	3,55	3,63	3,60
	21	9,93	2,75	2,78	2,70	4,30	4,75	4,10	4,00	3,50	3,50	3,55	3,65	3,65	3,82	4,00
	22	15,91	1,88	2,02	1,92	3,70	3,95	3,30	3,50	3,40	2,55	2,65	3,50	2,65	2,73	3,10
	23	13,11	-	-	-	3,35	3,70	2,95	2,65	1,70	1,80	1,80	1,80	1,90	2,10	2,45
	24	10,52	-	-	3,00	3,80	4,05	3,60	3,50	3,35	3,25	3,40	3,40	3,40	3,45	3,75
	25	16,07	1,50	2,00	2,70	3,70	3,70	4,00	4,00	2,40	2,40	2,50	2,55	2,70	2,85	3,55
	26	16,08	1,25	1,30	1,20	2,40	2,85	2,15	2,15	1,65	1,65	1,70	1,75	1,75	1,92	2,00
	27	16,60	1,22	1,28	1,48	2,30	2,75	2,10	2,00	1,55	1,55	1,70	1,70	1,70	1,85	1,85

NÍVEL PIEZOMÉTRICO (m)

PIEZÔMETRO (PPG)	1990												1991																
	ANO												ANO																
	MAR.	ABR.	MAI.	NOV.	DEZ.	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.								
01	38,79	39,49	41,09	50,29	51,29	49,29	49,29	42,29	42,29	42,79	36,29	36,29	48,59	50,79	38,79	39,49	41,09	50,29	51,29	49,29	49,29	42,29	42,29	42,79	36,29	36,29	48,59	50,79	
02	35,35	39,10	37,60	50,10	50,10	47,60	49,10	42,10	43,60	43,60	44,60	44,60	48,30	49,60	35,35	39,10	37,60	50,10	50,10	47,60	49,10	42,10	43,60	43,60	44,60	44,60	48,30	49,60	
03	20,37	36,37	42,37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20,37	36,37	42,37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
04	26,02	28,22	31,52	47,52	42,52	41,02	43,02	30,52	30,52	34,02	33,52	33,52	38,52	40,02	26,02	28,22	31,52	47,52	42,52	41,02	43,02	30,52	30,52	34,02	33,52	33,52	38,52	40,02	
05	26,54	29,84	35,84	52,04	50,04	49,04	49,04	34,04	33,54	36,54	34,04	34,04	39,34	44,02	26,54	29,84	35,84	52,04	50,04	49,04	49,04	34,04	33,54	36,54	34,04	34,04	39,34	44,02	
06	31,71	37,71	39,91	47,71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31,71	37,71	39,91	47,71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
07	29,48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29,48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
08	20,07	22,37	28,77	37,57	34,57	34,07	33,07	-	-	-	-	-	-	-	20,07	22,37	28,77	37,57	34,57	34,07	33,07	-	-	-	-	-	-	-	-
09	27,03	28,33	32,63	38,83	37,83	36,33	35,83	30,83	30,83	31,33	31,33	31,33	33,53	36,33	27,03	28,33	32,63	38,83	37,83	36,33	35,83	30,83	30,83	31,33	31,33	31,33	33,53	36,33	
10	34,22	37,22	35,42	-	-	-	-	57,72	67,72	76,55	74,22	69,72	73,22	95,22	34,22	37,22	35,42	-	-	-	-	57,72	67,72	76,55	74,22	69,72	73,22	95,22	
11	35,54	42,24	34,84	-	-	-	-	58,04	68,54	76,54	79,54	77,54	81,34	77,04	35,54	42,24	34,84	-	-	-	-	58,04	68,54	76,54	79,54	77,54	81,34	77,04	
14	47,80	35,50	33,00	52,50	52,50	46,50	47,00	46,50	40,00	42,50	41,00	42,00	42,30	43,00	47,80	35,50	33,00	52,50	52,50	46,50	47,00	46,50	40,00	42,50	41,00	42,00	42,30	43,00	
15	31,13	31,33	28,63	43,63	45,13	42,13	39,13	35,13	36,13	39,13	37,13	37,13	39,33	41,13	31,13	31,33	28,63	43,63	45,13	42,13	39,13	35,13	36,13	39,13	37,13	37,13	39,33	41,13	
17	26,20	29,50	28,70	47,70	48,70	42,70	38,70	32,70	33,70	36,20	35,20	35,20	36,40	36,20	26,20	29,50	28,70	47,70	48,70	42,70	38,70	32,70	33,70	36,20	35,20	35,20	36,40	36,20	
18	25,63	29,13	27,13	46,13	45,63	41,13	37,63	30,13	32,13	34,63	32,63	33,13	33,63	-	25,63	29,13	27,13	46,13	45,63	41,13	37,63	30,13	32,13	34,63	32,63	33,13	33,63	-	
19	46,85	51,55	45,85	64,05	56,55	59,55	54,05	48,05	50,05	05,05	52,05	51,05	52,75	53,05	46,85	51,55	45,85	64,05	56,55	59,55	54,05	48,05	50,05	05,05	52,05	51,05	52,75	53,05	
20	43,13	43,13	42,33	50,63	53,13	50,63	49,13	47,63	48,13	48,13	49,13	48,63	49,43	49,13	43,13	43,13	42,33	50,63	53,13	50,63	49,13	47,63	48,13	48,13	49,13	48,63	49,43	49,13	
21	37,43	37,73	36,93	52,93	57,43	50,93	49,93	44,93	44,93	45,43	46,43	46,43	48,13	49,93	37,43	37,73	36,93	52,93	57,43	50,93	49,93	44,93	44,93	45,43	46,43	46,43	48,13	49,93	
22	34,71	36,11	35,11	52,91	55,41	48,91	50,91	49,91	41,41	42,41	50,91	42,41	43,21	46,91	34,71	36,11	35,11	52,91	55,41	48,91	50,91	49,91	41,41	42,41	50,91	42,41	43,21	46,91	
23	-	-	-	46,61	50,11	42,61	39,61	30,11	31,11	31,11	31,11	32,11	34,11	37,61	-	-	-	46,61	50,11	42,61	39,61	30,11	31,11	31,11	32,11	34,11	37,61		
24	-	-	40,52	48,52	51,02	46,52	45,52	44,02	43,02	44,52	44,52	44,52	45,02	48,02	-	-	40,52	48,52	51,02	46,52	45,52	44,02	43,02	44,52	44,52	44,52	45,02	48,02	
25	31,07	36,07	43,07	53,08	53,08	56,08	56,08	40,08	40,08	41,08	41,58	43,08	44,57	51,58	31,07	36,07	43,07	53,08	53,08	56,08	56,08	40,08	40,08	41,08	41,58	43,08	44,57	51,58	
26	28,58	29,08	28,08	40,07	44,57	37,57	37,57	32,57	32,57	33,07	33,57	33,57	35,28	36,07	28,58	29,08	28,08	40,07	44,57	37,57	37,57	32,57	32,57	33,07	33,57	33,57	35,28	36,07	

BARRAGEM

DO

MAMUABA

	PIEZÔMETRO (PPM)	COTA DE INSTA- LAÇÃO	TABELA Nº 12 PRESSÃO INTERSTICIAL DOS PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS DA BARRAGEM DO MAMUABA (Kgf/cm ²)													
			ANO 1990					ANO 1991								
			MAR.	ABR.	MAI.	NOV.	DEZ.	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.
CABINE 01	02	17,20	-	-	-	1,25	1,15	1,60	1,00	0,90	0,90	0,95	1,05	1,05	1,10	1,10
	03	7,33	-	-	-	4,95	5,35	6,80	3,25	3,65	3,65	3,55	3,55	3,45	3,67	3,40
	05	17,18	1,42	1,52	1,08	2,30	2,10	2,65	1,90	1,65	1,45	1,85	1,90	1,90	2,03	2,10
	06	7,39	-	-	-	4,65	4,35	4,50	3,60	3,60	3,50	3,65	3,95	3,85	4,08	4,10
	07	16,35	3,10	3,18	2,22	-	-	-	-	-	-	5,50	5,75	5,50	7,57	8,35
	08	17,08	-	-	-	2,70	2,70	2,90	2,05	1,75	1,80	1,60	1,80	1,80	2,08	2,10
CABINE 02	10	16,72	1,55	1,60	1,15	2,50	2,40	2,40	2,10	2,00	2,00	2,10	2,20	2,20	2,38	2,35
	12	7,00	2,70	2,70	2,28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	13	17,21	0,70	0,66	0,40	2,35	2,20	1,95	1,60	1,40	1,40	1,30	1,40	1,20	1,73	1,50
	14	10,66	1,08	1,02	0,75	3,00	2,75	2,90	1,85	1,85	1,85	1,70	1,90	1,85	2,07	1,95
	15	7,29	1,85	1,70	1,32	3,30	3,10	2,95	2,65	-	-	-	-	-	-	-
	16	15,76	-	-	-	1,75	1,55	1,50	1,20	0,90	0,95	0,90	0,95	0,95	1,17	1,10
	17	16,13	0,92	0,95	0,78	1,90	1,80	1,70	1,40	1,20	1,20	1,20	1,20	1,30	1,48	1,50
	18	16,17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CABINE 03	19	11,16	2,82	3,02	2,75	4,05	3,80	4,65	3,75	3,80	3,80	3,75	3,75	3,80	3,80	4,00
	20	18,59	2,00	1,95	1,85	4,60	4,10	3,85	3,70	2,50	2,50	2,55	2,60	2,75	2,77	2,85
	21	8,96	2,05	2,00	1,95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	22	11,77	1,25	1,32	1,22	2,35	2,25	1,25	2,05	1,25	1,25	1,80	1,90	1,80	1,87	2,00
	24	8,72	2,12	2,22	1,90	3,50	3,20	2,90	2,90	2,90	2,80	2,70	2,65	2,70	2,90	3,10
	25	15,79	0,98	1,35	0,80	3,90	3,80	2,30	2,30	2,00	2,15	2,00	2,20	2,10	2,50	2,65
	26	15,86	0,85	0,80	0,75	2,45	2,45	1,45	1,50	1,45	1,45	1,25	1,45	1,45	1,57	1,75
	27	13,73	0,95	0,90	0,60	2,65	2,50	1,50	1,75	1,45	1,45	1,45	1,50	1,45	1,73	1,90

PIEZÔMETRO (P P M)	NIVEL												PIEZOMÉTRICO											
	ANO 1990						ANO 1991						ANO 1991						(m)					
	MAR.	ABR.	MAI.	NOV.	DEZ.	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.										
02	-	-	-	29,70	28,70	33,20	27,20	26,20	26,20	26,70	27,70	27,70	28,20	28,20										
03	-	-	-	56,83	60,83	75,33	39,83	43,83	43,83	42,83	42,83	41,83	44,03	41,33										
05	31,38	32,38	27,98	40,18	38,18	43,68	36,18	33,68	31,68	35,68	36,18	36,18	37,48	38,18										
06	-	-	-	53,89	50,89	52,39	43,39	43,39	42,39	43,89	46,89	45,89	48,19	48,39										
07	47,35	48,15	38,55	-	-	-	-	-	-	71,35	73,85	71,35	92,05	99,85										
08	-	-	-	44,08	44,08	46,08	37,58	34,58	35,08	33,08	35,08	35,08	37,88	38,08										
10	32,22	32,72	28,22	41,72	40,72	40,72	37,72	36,72	36,72	37,72	38,72	38,72	40,52	40,22										
12	34,00	24,00	29,80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-										
13	24,21	23,81	21,21	40,71	39,21	36,71	33,21	31,21	31,21	30,21	31,21	29,21	34,51	32,21										
14	21,46	20,86	18,16	40,66	38,16	39,66	29,16	29,16	29,16	27,66	29,66	29,16	31,36	30,16										
15	25,79	24,29	20,49	40,29	38,29	36,79	33,79	-	-	-	-	-	-	-										
16	-	-	-	33,26	31,26	30,76	27,76	24,76	25,26	24,76	25,26	25,26	24,46	26,76										
17	25,33	25,63	23,93	35,13	34,13	33,13	30,13	28,13	28,13	28,13	28,13	29,13	30,93	31,13										
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-										
19	39,36	41,36	38,66	51,66	49,16	57,66	48,66	49,16	49,16	49,16	14,91	48,66	49,16	51,16										
20	38,59	38,09	37,09	64,59	59,59	57,09	55,59	43,59	43,59	44,09	44,59	46,09	46,29	47,09										
21	29,46	28,96	28,46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-										
22	24,27	24,97	23,97	35,27	34,27	24,27	32,27	24,27	24,27	29,77	30,77	29,77	30,47	31,77										
24	29,92	30,92	27,72	43,72	40,72	37,72	37,72	37,72	36,72	35,72	35,22	35,72	37,72	39,72										
25	25,59	29,29	23,79	54,79	53,79	38,79	38,79	35,79	37,29	35,79	37,79	36,79	40,79	42,29										
26	24,36	23,86	23,36	40,36	40,36	30,36	30,86	30,36	30,36	28,36	30,36	30,36	31,56	33,36										
27	23,23	22,73	19,73	40,23	38,73	28,73	31,23	28,23	28,23	28,23	28,73	28,23	31,03	32,73										

TABELA Nº 13
LEITURAS DOS PIEZÔMETROS CASAGRANDE DAS BARRAGENS GRAMAME/MAMUABA

BARRAGEM	PIEZÔMETRO CASA GRANDE	COTA DO TOPO DO TUBO	COTA DE INSTA- LAÇÃO	ANO																					
				1990						1991															
				MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.*	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.*	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.*	SET.			
N.ÁGUA DO RESERVATOR.				31,8	31,8	32,7	34,2	34,8	35,1	34,9	34,8	34,5	34,0	33,6	33,2	33,0	32,9	33,8	34,5	34,9	35,0	35,0	35,0		
				40,36	15,00	10,02	9,00	9,42	10,03	10,18	10,18	10,21	10,36	10,50	10,60	10,84	11,03	11,28	11,45	11,50	11,43	11,40	10,58	10,00	
				PC02	22,71	13,50	1,76	0,71	0,56	0,52	0,50	0,47	0,53	0,55	0,57	0,60	0,80	0,82	0,82	0,77	0,62	0,58	0,56	0,50	0,40
				PC03	36,64	15,00	13,97	13,95	13,76	13,51	13,35	13,20	13,42	13,49	13,58	13,72	13,80	14,03	13,93	13,91	13,77	13,67	13,65	13,42	13,12
				PC04	22,78	13,50	2,02	1,90	1,62	1,38	1,29	1,04	1,55	1,59	1,70	1,88	1,94	1,94	1,96	1,84	1,48	1,65	1,63	1,35	0,98
				PC05	36,77	20,00	13,54	13,58	13,38	12,60	12,13	11,33	11,26	11,39	11,56	11,70	12,00	12,03	12,62	12,60	12,19	11,71	11,68	11,38	11,60
				PC06	36,86	20,00	10,03	10,07	9,68	9,06	8,16	7,66	8,00	8,10	8,25	8,38	8,62	8,89	8,90	8,93	8,88	8,11	8,00	7,81	7,60
				PC07	36,63	19,00	11,20	11,19	10,96	10,48	10,35	10,03	10,33	10,45	10,63	10,75	10,90	11,07	11,08	11,10	10,90	10,73	10,70	10,25	10,00
PC08	22,93	9,20	1,22	1,17	0,94	0,82	0,78	0,66	0,83	0,91	0,97	1,03	1,20	1,27	1,27	1,23	1,09	1,06	1,04	0,85	0,57				
MAMUABA				10,63	11,02	11,66	11,06	10,01	9,20	8,96	9,17	9,47	9,69	10,19	10,96	11,12	11,41	11,09	10,43	9,86	9,38	9,41			
				PC01	36,53	20,00	13,08	13,20	13,03	12,00	11,14	10,38	10,15	10,39	10,64	10,87	11,34	12,00	12,12	12,30	11,95	11,38	10,90	10,50	10,30
				PC02	36,55	20,00	16,89	16,94	16,68	16,06	15,84	15,46	15,66	15,68	15,80	15,93	16,03	16,15	16,17	16,19	15,88	15,67	15,46	15,42	15,40
				PC03	40,48	15,00	2,11	2,10	2,00	1,82	1,74	1,64	1,62	1,59	1,66	1,70	1,74	1,80	1,80	1,78	1,68	1,60	1,57	1,55	1,51
				PC04	22,42	15,00	16,09	16,16	15,88	15,17	14,67	14,61	14,70	14,74	14,89	15,04	15,24	15,47	15,50	15,54	15,24	15,02	14,80	14,66	14,72
				PC05	40,44	15,00	5,52	5,52	5,30	4,99	4,78	4,22	4,33	4,40	4,65	4,83	4,46	5,31	5,19	5,30	5,03	4,90	4,82	4,25	4,67
				PC06	32,83	15,00	8,85	8,90	8,83	8,64	8,43	8,03	7,94	8,80	8,88	8,98	9,49	11,47	11,25	11,23	11,05	11,00	10,89	9,42	8,20
				PC07	32,81	15,00																			

OBS: * INÍCIO DO 1º VERTICAMENTO E CONVERSAMENTO
* INÍCIO DO 2º PERÍODO CHUVOSO (100% PRECIPITAÇÃO) REALIZADO EM 1991

CONTINUAÇÃO DA TABELA Nº 13

NÍVEL PIEZOMÉTRICO DOS PIEZÔMETROS CASAGRANDE

ANO 1990										ANO 1991								
MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR**	MAI	JUN	JUL	AGO	SET
30,34	31,36	30,94	30,33	30,18	30,18	30,15	30,00	29,86	29,76	29,52	29,33	29,08	28,91	28,86	28,93	28,96	29,78	30,36
20,95	22,00	22,15	22,19	22,21	22,24	22,18	22,16	22,14	22,11	21,91	21,89	21,89	21,94	22,09	22,13	22,15	22,21	22,31
22,67	22,69	22,88	23,13	23,29	23,44	23,22	23,15	23,06	22,92	22,84	22,61	22,71	22,73	22,87	22,97	22,99	23,22	23,52
20,76	20,88	21,16	21,40	21,50	21,74	21,23	21,19	21,08	20,90	20,84	20,84	20,82	20,94	21,30	21,13	21,15	21,43	21,20
23,23	23,19	23,39	24,17	24,64	25,44	25,50	25,38	25,21	25,07	24,77	24,74	24,15	24,17	24,58	25,06	25,09	25,39	25,17
26,83	26,79	27,18	27,80	28,70	29,20	28,86	28,76	28,61	28,48	28,24	27,97	27,96	27,93	27,98	28,75	28,86	29,05	24,26
25,43	25,44	25,67	26,15	26,28	26,60	26,30	26,18	26,00	25,88	25,73	25,56	25,55	25,53	25,73	25,90	25,93	26,38	26,63
21,71	21,76	21,99	22,11	22,15	22,27	22,10	22,02	21,96	21,90	21,73	21,66	21,66	21,70	21,84	21,87	21,89	22,08	22,36
25,90	25,51	24,87	25,47	26,52	27,33	27,57	27,36	27,06	26,84	26,34	25,57	25,41	25,12	25,44	26,10	26,67	27,15	27,12
23,47	23,35	23,52	24,55	25,41	26,17	26,40	26,16	25,91	25,68	25,21	24,55	24,43	24,25	24,60	25,17	25,65	26,05	26,05
23,59	23,54	23,80	24,42	24,64	25,02	24,82	24,80	24,68	24,55	24,45	24,33	24,31	24,29	24,60	24,81	25,02	25,06	25,08
20,31	20,32	20,42	20,60	20,68	20,78	20,80	20,83	20,76	20,72	20,68	20,62	20,62	20,64	20,74	20,82	20,85	20,87	20,41
24,35	24,28	24,56	25,27	25,77	25,83	24,74	25,70	25,55	25,40	25,20	24,97	24,94	24,90	25,20	25,42	25,64	25,78	25,72
27,31	27,31	27,53	27,84	28,05	28,61	28,50	28,43	28,18	28,00	28,37	27,52	27,64	27,53	27,80	27,93	28,01	28,58	28,16
23,96	23,91	23,98	24,17	24,38	24,78	24,87	24,01	23,93	23,83	23,32	21,34	21,56	21,58	21,76	21,81	21,92	23,39	24,61

A Nº 14 PARA OS GRÁFICOS DO NÍVEL PIEZOMÉTRICO X TEMPO (MESES) = GRÁFICOS Nº 6

PIEZ. Nº	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANTE MÉDIA (Kgf/cm ²)															
	ANO 1 9 9 0					ANO 1 9 9 1										1992
	MAR	ABR	MAI	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	JAN	
19	3,10	3,65	3,00	4,90	5,15	4,43	3,90	3,30	3,50	3,50	3,70	3,60	3,80	3,80	3,70	
22	1,85	2,00	1,90	3,70	3,95	3,30	3,50	3,40	2,55	2,65	3,50	2,65	2,70	3,10	2,90	
25	1,50	2,00	2,70	3,70	3,70	4,00	4,00	2,40	2,40	2,50	2,55	2,70	2,85	3,55	3,25	
26	1,25	1,30	1,20	2,40	2,85	2,15	2,15	1,65	1,65	1,70	1,75	1,75	1,90	2,00	1,90	
27	1,20	1,30	1,48	2,30	2,75	2,10	2,00	1,55	1,55	1,70	1,70	1,70	1,85	1,85	1,85	

BARRAGEM DO GRAMAME SEÇÃO 21 + 0,00

PIEZ. Nº	NÍVEL PIEZOMÉTRICO MÉDIO (m)															
	ANO 1 9 9 0					A N O 1 9 9 1										1992
	MAR	ABR	MAI	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	JAN	
19	46,00	52,00	45,00	64,00	66,00	60,00	54,00	48,00	50,00	50,00	52,00	51,00	53,00	53,00	52,00	
22	34,00	36,00	35,00	53,00	55,00	49,00	51,00	50,00	41,00	42,00	51,00	42,00	43,00	47,00	45,00	
25	31,00	36,00	43,00	53,00	53,00	56,00	56,00	40,00	40,00	41,00	42,00	43,00	44,00	52,00	40,00	
26	28,00	29,00	28,00	40,00	44,00	38,00	38,00	32,00	32,00	33,00	34,00	34,00	35,00	36,00	35,00	
27	28,00	30,00	31,00	40,00	44,00	38,00	36,00	32,00	32,00	34,00	34,00	34,00	35,00	35,00	35,00	

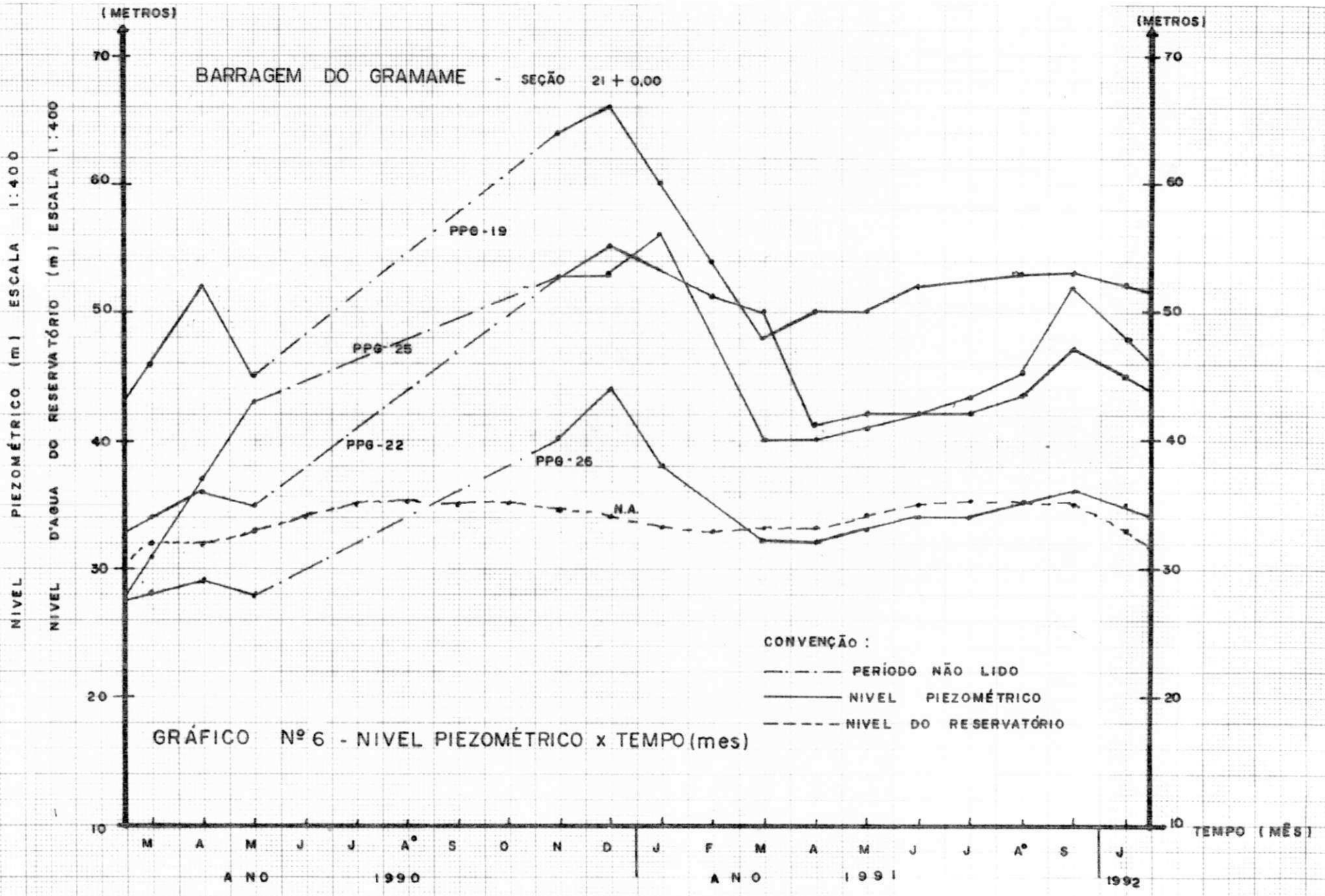
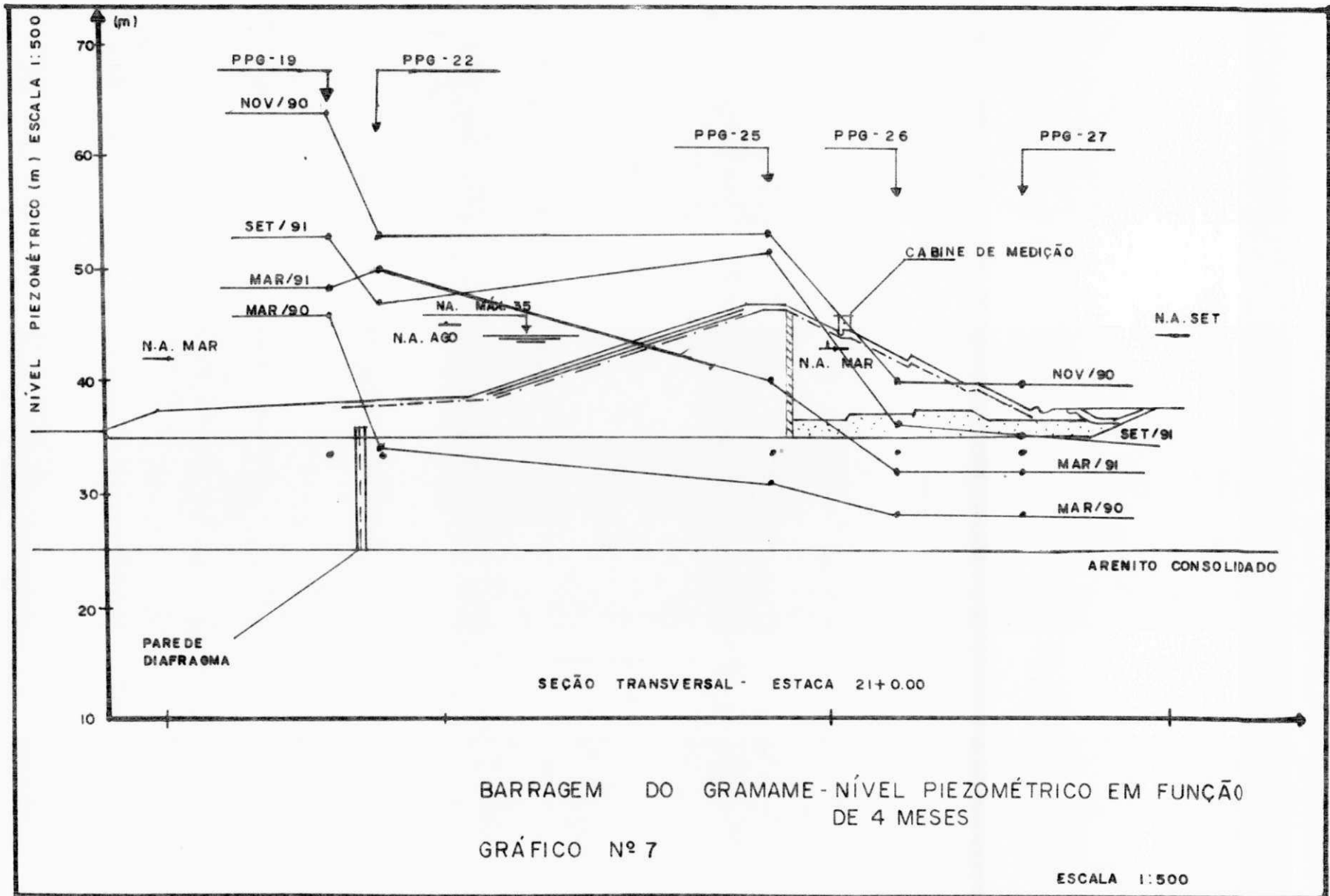


TABELA Nº 15 PARA OS GRÁFICOS DO NÍVEL
 PIEZOMÉTRICO EM FUNÇÃO DE 4 MESES
 DA BARRAGEM DO GRAMAME - GRAFICO Nº 7.

PIEZ. Nº	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANA (Kgf/cm ²)				NÍVEL PIEZOMÉTRICO				
	ANO	1 9 9 0		1 9 9 1		1 9 9 0		1 9 9 1	
	MES	MAR	NOV	MAR	SET	MAR	NOV	MAR	SET
19		3,10	4,90	3,30	3,80	46,00	64,00	48,00	53,00
22		1,85	3,70	3,40	3,10	34,00	53,00	50,00	47,00
25		1,50	3,70	2,40	3,55	31,00	53,00	40,00	52,00
26		1,25	2,40	1,65	2,00	28,00	40,00	32,00	36,00
27		1,20	2,30	1,55	1,85	28,00	40,00	32,00	35,00



A N° 16 PARA OS GRÁFICOS DO NÍVEL PIEZOMÉTRICO X TEMPO (MESES)- GRÁFICO N° 8

PIEZ. N°	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANTE MÉDIA (Kgf/cm ²)															
	ANO 1 9 9 0					ANO 1 9 9 1										1992
	MAR	ABR	MAI	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	JAN	
19	2,80	3,00	2,75	4,00	3,80	4,65	3,75	3,80	3,80	3,75	3,75	3,80	3,80	4,00	3,90	
22	1,25	1,30	1,20	2,35	2,25	1,25	2,00	1,25	1,25	1,80	1,90	1,80	1,85	2,00	1,95	
25	0,98	1,35	0,80	3,90	3,80	2,30	2,30	2,00	2,15	2,00	2,20	2,10	2,50	2,65	2,40	
26	0,85	0,80	0,75	2,45	2,45	1,45	1,50	1,45	1,45	1,25	1,45	1,45	1,55	1,75	1,55	
27	0,95	0,90	0,60	2,65	2,50	1,50	1,75	1,45	1,45	1,45	1,50	1,45	1,70	1,90	1,70	

BARRAGEM DO MAMUABA SEÇÃO 7 + 10,00

PIEZ. N°	NÍVEL PIEZOMÉTRICO MÉDIO (m)															
	ANO 1 9 9 0					A N O 1 9 9 1										1992
	MAR	ABR	MAI	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	JAN	
19	39,00	41,00	38,00	51,00	49,00	58,00	48,00	49,00	49,00	48,00	48,00	49,00	49,00	51,00	50,00	
22	24,00	25,00	24,00	35,00	34,00	24,00	32,00	24,00	24,00	30,00	31,00	28,00	31,00	32,00	31,00	
25	26,00	29,00	24,00	55,00	54,00	39,00	39,00	36,00	37,00	36,00	38,00	37,00	41,00	42,00	40,00	
26	24,00	24,00	23,00	40,00	40,00	30,00	31,00	30,00	30,00	28,00	30,00	30,00	31,00	33,00	31,00	
27	23,00	23,00	20,00	40,00	39,00	29,00	31,00	28,00	28,00	28,00	29,00	28,00	31,00	33,00	31,00	

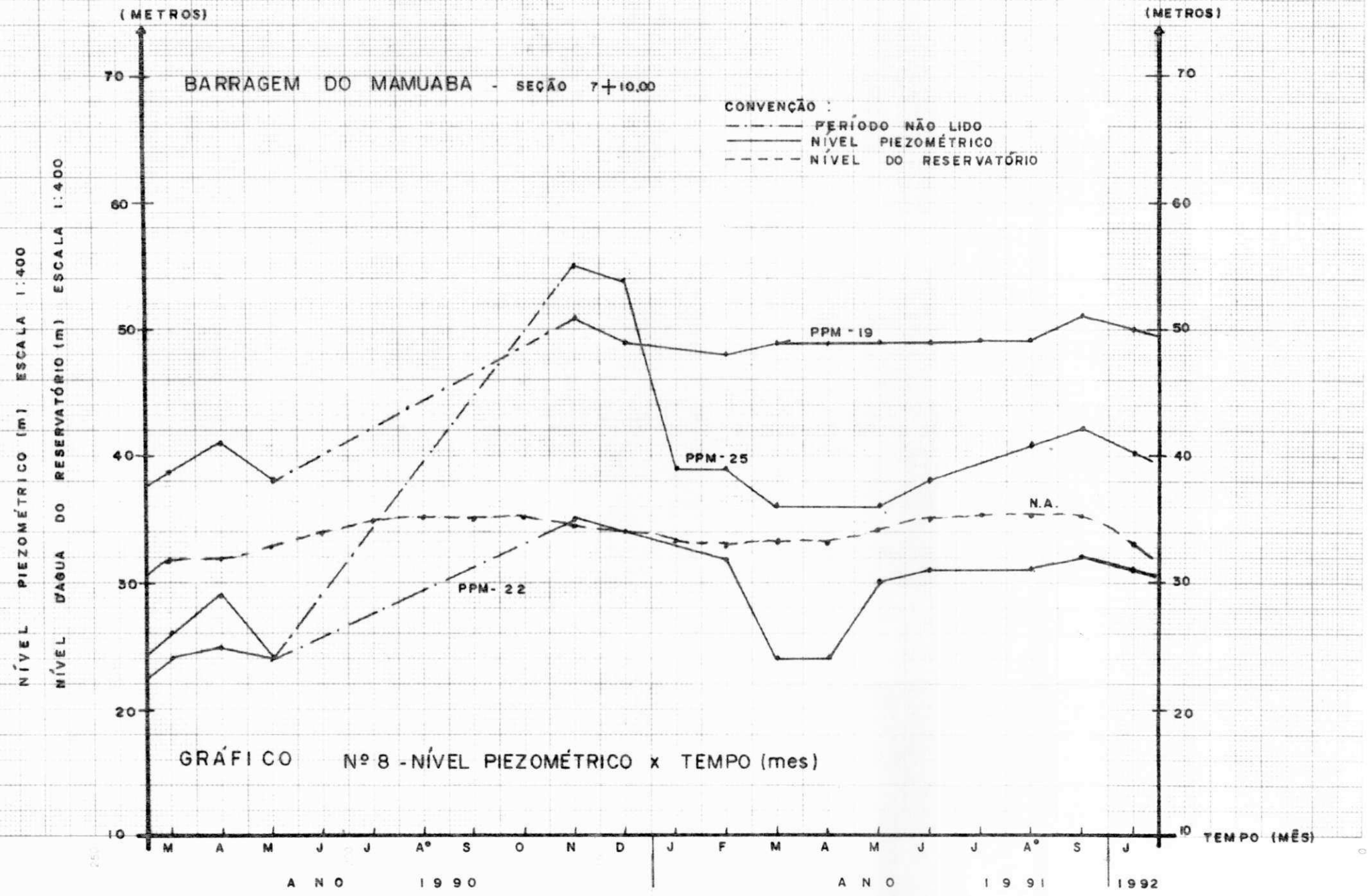
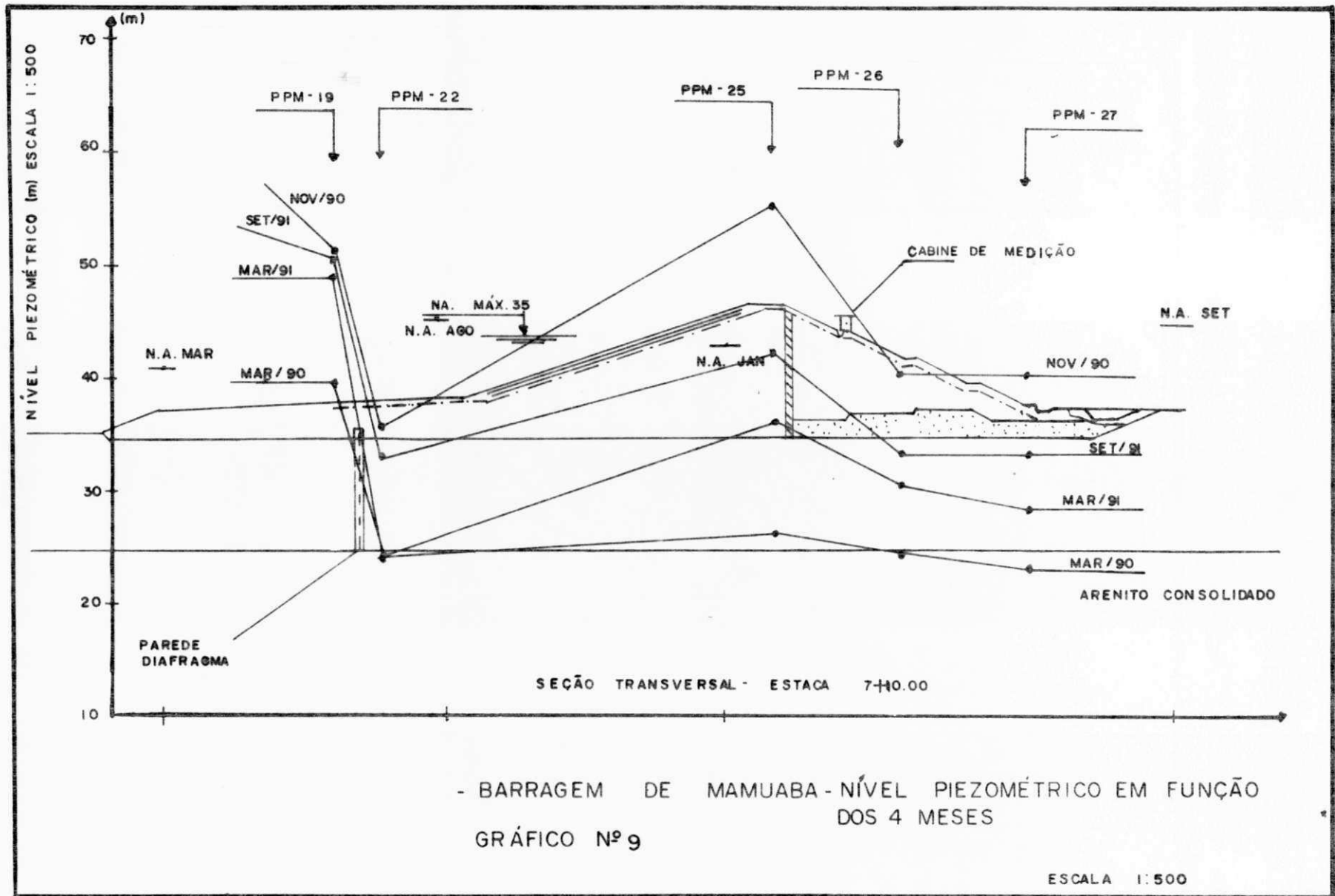


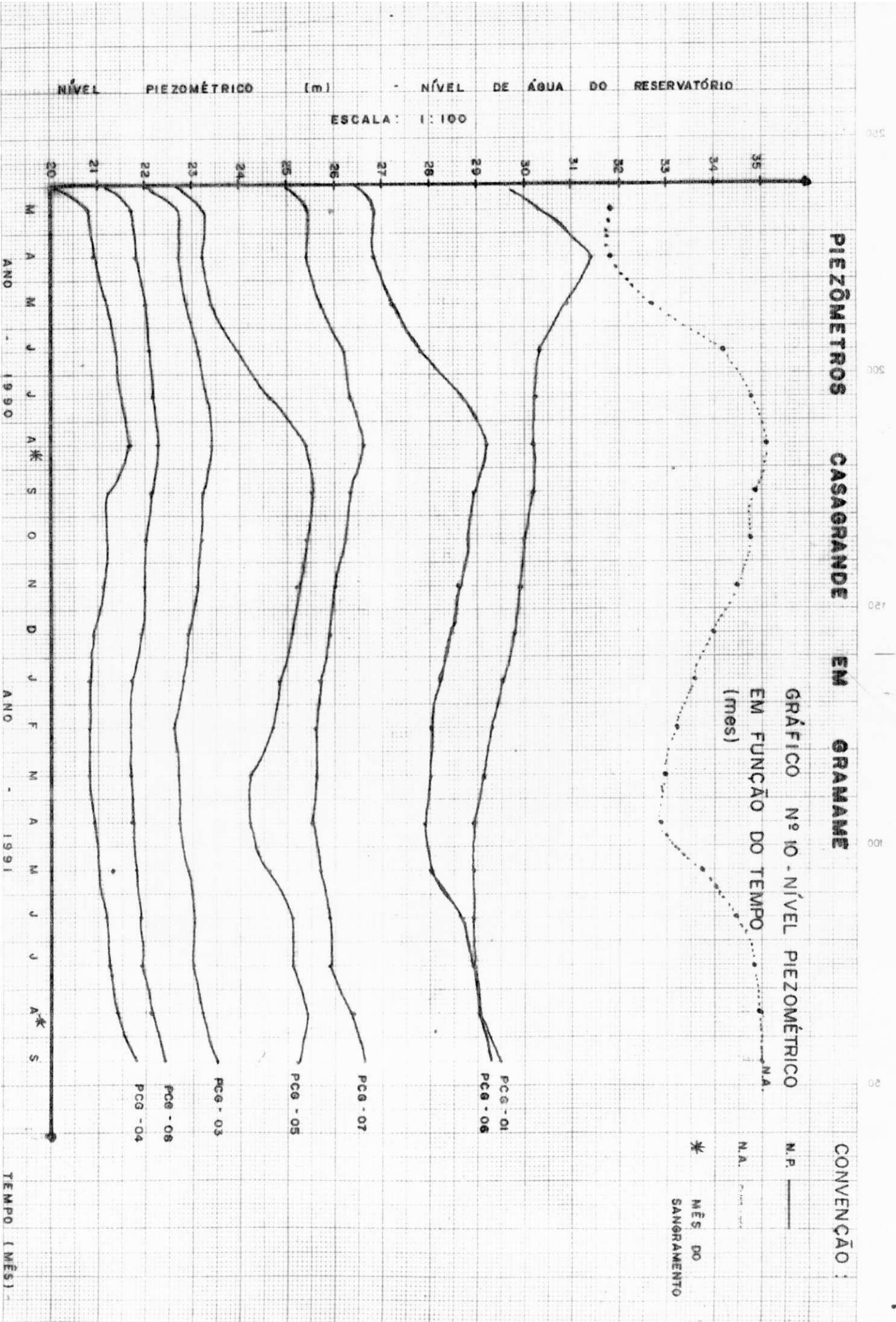
TABELA Nº 17 PARA OS GRÁFICOS DO NÍVEL
PIEZOMÉTRICO EM FUNÇÃO DE 4 MESES NA
BARRAGEM DO MAMUABA - GRÁFICO Nº 9

PIEZ. Nº	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANA (Kgf/cm ²)				NÍVEL PIEZOMÉTRICO				
	ANO	1 9 9 0		1 9 9 1		1 9 9 0		1 9 9 1	
	MÊS	MAR	NOV	MAR	SET	MAR	NOV	MAR	SET
19		2,80	4,00	3,80	4,00	39,00	51,00	49,00	51,00
22		1,25	2,35	1,25	2,00	24,00	35,00	24,00	32,00
25		0,98	3,90	2,00	2,65	26,00	55,00	36,00	42,00
26		0,85	2,45	1,45	1,75	24,00	40,00	30,00	33,00
27		0,95	2,65	1,45	1,90	23,00	40,00	28,00	33,00

OBS.: (1) O gráfico é feito com as leituras dos piezômetros para um mesmo mês do ano. (Ex.: as leituras dos piezômetros 19,22,25, 26 e 27 no mês de nov. de 1990).

(2) O gráfico do nível d'água do reservatório foi feito nível d'água em função do tempo (mês).





PIEZÔMETROS CASAGRANDE EM MAMUABA

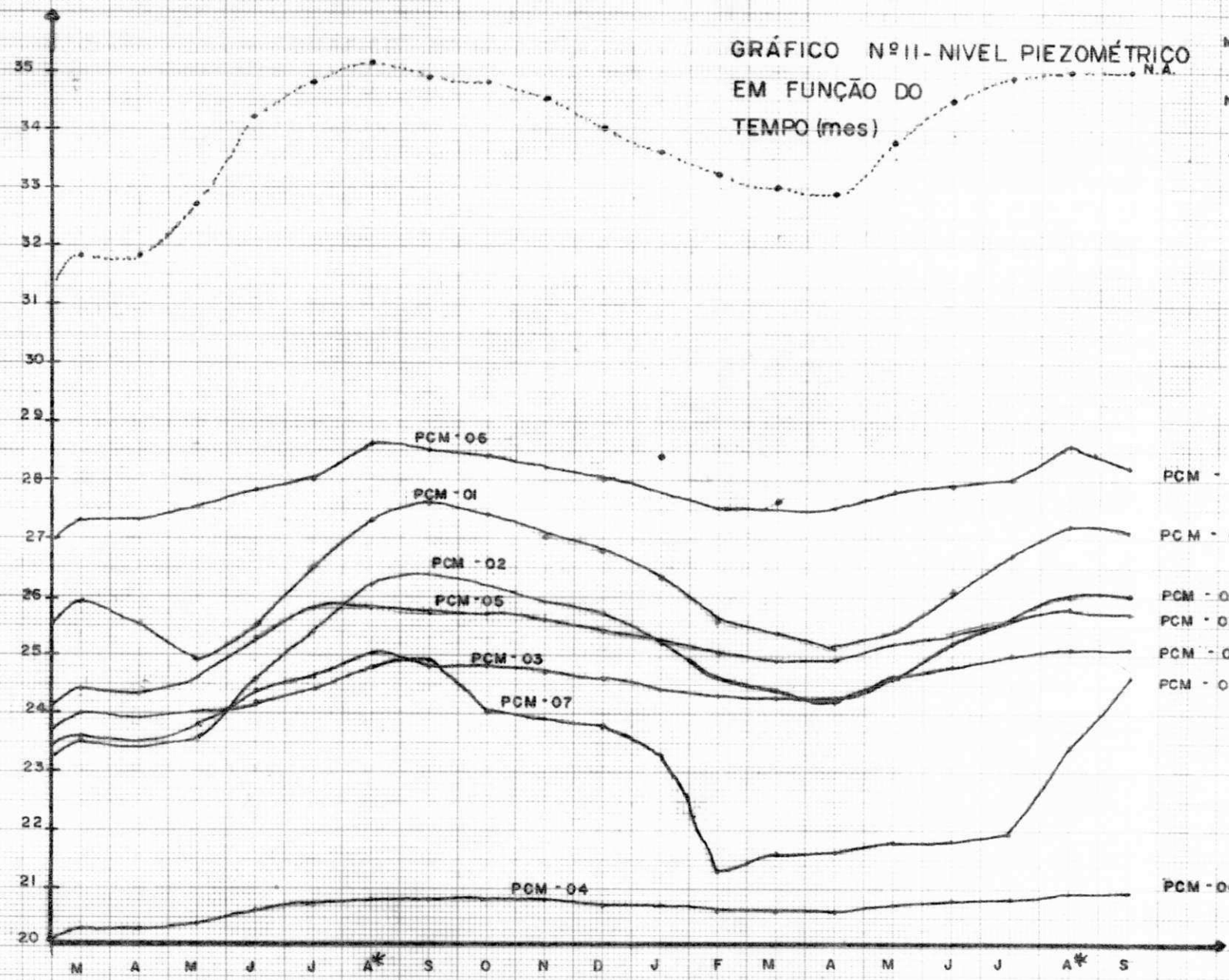
CONVENÇÃO :

GRÁFICO Nº 11 - NÍVEL PIEZOMÉTRICO EM FUNÇÃO DO TEMPO (mes)

N.P. ———
 N.A. - - - -
 * MÊS DO SANGRAMENTO

NÍVEL PIEZOMÉTRICO (m) - NÍVEL DE ÁGUA DO RESERVATÓRIO

ESCALA : 1 : 100



CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES

Dos instrumentos utilizados na engenharia geotécnica esses apresentados neste trabalho são os mais utilizados e os mais importantes.

O estudo apresentado sobre parede diafragma foi bem sucinto, mas procurou-se focar os itens mais importantes deste estudo que foram: os tipos construtivos de parede diafragma, a técnica utilizada para escavação, sua armação e a concretagem. Também mostrou-se que o número de vantagens utilizando esta tecnologia é bem maiores que as desvantagens.

Baseado nos resultados das leituras efetuadas durante o período de observação, no estudo dos gráficos de cada uma das seções das barragens e nos gráficos dos piezômetros Casagrande, tira-se também as seguintes conclusões:

(1) O comportamento geral das barragens Gramame/Mamuaba e da parede diafragma, quanto à geração de pressões da água intersticial no enchimento, primeiro e segundo sangramento - os dois primeiros anos de operação - foi plenamente satisfatório. Nesse período nada foi constatado que comprometesse a segurança da obra.

(2) Quanto às variações das pressões da água intersticial na seção 7 + 10,00 de Mamuaba, ocorreram de modo satisfatório. Também as variações nas outras seções não apresentaram valores altos que comprometessem a segurança da obra.

(3) Quanto às variações das pressões da água intersticial na seção 21 + 0,00 de Gramame, alguns piezômetros apresentaram comportamento não esperado, se comparado com outros piezômetros, com leitura feita no mesmo mês (GRÁFICO Nº 7). Mas, quando medidos individualmente, apresentaram resultados corretos (GRÁFICO Nº 1). As variações piezométricas das outras seções apresentaram valores considerados normais, apesar de alguns piezômetros apresentarem valores mais altos.

(4) As variações das pressões da água intersticial dos piezômetros Casagrande, estão todos, dentro da normalidade.

(5) Durante esse período de dois anos de leitura dos piezômetros, também se fez inspeção visual em ambas as barragens, não se constatando nenhuma anormalidade que mereça destaque.

(6) A parede diafragma através das pressões analisadas está atendendo plenamente o seu objetivo que é o impedimento da percolação d'água através do solo premeável.

CAPÍTULO 8

SUGESTÕES PARA NOVOS TRABALHOS

Deve-se ter a certeza que um período de operação normal na instrumentação de uma barragem, não é garantia de condições futuras de segurança, uma vez que tem havido vários casos de rupturas bruscas após dez, quinze e até vinte anos de operação. A segurança é algo que deve ser avaliado continuamente por toda a vida útil de um barragem, de modo correto através da instrumentação e de uma boa e minuciosa inspeção visual.

Com base nessas informações, sugere-se:

(1) que sejam feitas as leituras dos piezômetros por um período mínimo de mais dois anos pra nova avaliação do comportamento dos dados de campo e conseqüentemente da barragem e suas estruturas e até uma comparação com esses dados iniciais. Antes, porém, deve haver uma calibração nos manômetros da unidade de leitura, uma conferência na trena do sensor elétrico, um novo ensaio de dissipação dos piezômetros Casagrande, e até uma tentativa de recuperação de alguns piezômetros Pneumáticos

(2) com esses dados obtidos através da instrumentação e até com novos dados, fazer uma comparação desses com os dados adotados no projeto;

(3) através dos dados obtidos no campo com a instrumentação (dados práticos), fazer comparações com dados teóricos, obtidos através do estudo com elementos finitos.

CAPÍTULO 9

BIBLIOGRAFIA

01. A CONSTRUÇÃO. Banco Real: cinco subsolos em paredes diaframas. São Paulo, 1418 p.2-7.
02. ANSON S/A, Engenharia de Fundações e Recuperações. Boletim técnico de paredes diafragma, estacas barretes e estacas escavadas de grande diâmetro. São Paulo, 1980
03. ARMBRUSTER, H. & MERKLER, G.P. The closure of a leakage in the sealing system of a dyke. Rio de Janeiro, Committee of Publications of XII ICSMFE, 13-18 agosto 1989. v.3, cap. 20, P. 1471-1474.
04. BHATIA, S. K. In situ measurement of the permeability of slurry walls. Rio de Janeiro, Committee of Publications of XII ICSMFE, 13-18 agosto 1989. v.3, cap.20, P.1471-1474.
05. CAMPOS, Tarcio Mauro Pereira de. Análise de estabilidade: métodos, parâmetros e pressões neutras. Rio de Janeiro, 1985.
06. CAPUTO, Homero Pinto. Mecânica dos solos e suas aplicações. 3. ED. Rio de Janeiro, livros técnicos e científicos editora s/a. ed. 1973 2 V.
07. _____. Mecânica dos solos e suas aplicações: complementos de geotécnica, fundações e infra estrutura. Rio de Janeiro, livros técnicos e científicos editora s/a. ed. 1978. 4 V.
08. CARVALHO, Luis Hernani de. Curso de barragens de terra com vistas ao nordeste brasileiro. Fortaleza, DNOCS, 1984. 2 V.
09. CEDERGREN, H. R. Seepage, Drainage, and Glow Nets. John Wiley and Sons, Inc., New York. 1967.

10. CESP, Laboratório Central de Engenharia Civil. Instrumentação para engenharia civil. 3 ed. São Paulo, 1988. 24 P.
11. COUTINHO, R.Q. Aterro experimental instrumentado levado a ruptura sobre solos orgânicos-argilas moles da barragem de Juturnaíba. Rio de Janeiro, UFRJ, outubro, 1986.
12. DE OLIVEIRA, Hamilton G. Apresentação de resultados de medidas piezométricas nas barragens do Rio de Janeiro. Anais do IV congresso Brasileiro de mecânica dos solos e engenharia de fundações. Rio de Janeiro, ABMS, 3-8 agosto 1970.V.I, TOMO II.
13. EDUARDO COSTANZO, José & SUERZUT JUNIOR, Horácio. Simpósio instrumentação. Ilha Solteira, Rio de Janeiro, CESP, 1974.
14. EL-NANHAS, F. Behavior of diaphragm walls during construction of Cairo metro. Rio de Janeiro, Committee de publications of XII ICSMFE, 13-18 agosto 1989.V.3, cap.20, P.1483-1486.
15. ESTE, Engenharia Serviços Técnicos Especiais S/A. Parede diafragmas e estacas. 20 anos da ESTE. São Paulo. 1990
16. ESTEVES, Virgilio Penalva. Barragens de terra. 2.ed. Campina Grande, UFPB, 1964.
17. EUGENIO CRUCIANE, Décio. A drenagem na agricultura. 4.ed. São Paulo, Nobel, 1987.
18. FUNDESP, Fundações, Indústria e Comércio S/A. Paredes diafragmas e estacas barrete. São Paulo, 1987.
19. GOTO, S. The world's first high-strength, super-deep slurry wall Rio de Janeiro, Committee de Publications of XII ICSMFE, 13 - 18 agosto 1989. V.3, cap.20, P.1487-1490.
20. HANNA, T. H. Field instrumentation in geotechnical engineering. Series on Rock and Soil Mechanics, vol. 10. first edition, transtecch publications, England.

21. HAYNAL, I. & MARTON, J. Construction of diaphragm walls. Budapeste, EUA, 1984.
22. HOLANDA, Francisco G. Relatórios de atividades de consultoria em concreto, durante as visitas ao sistema Gramame/Mamuaba. João Pessoa, de 1986 a 1989.
23. HSU, Serge J.C. Alguns aspectos básicos de instrumentação na barragem de terra e de enrocamento. Rio de Janeiro ABMS, 3-8 agosto 1970. V.I, TOMO II, p. 66-84.
24. HUDER, J. Stability of betonite slurry trenches with some experiences in swiss practice, Madrid, vol.1, 1972. P.517.
25. HUMES, Ciro. O comportamento da barragem pedra do cavalo durante o período construtivo. Porto Alegre, ABMS, 12-16 outubro 1986. V.III, MS-2: obras de terra, P.51-63.
26. METRO, Companhia do Metropolitano do Rio de Janeiro. Ciclo de palestras sobre paredes diafragmas. Rio de Janeiro, ed. divisão de desenvolvimento de pessoal, 1979.
27. MUHOVEC, I. & CESAREC, M. Foundation pit protection by a diaphragm at NPS Krsko(yu). Rio de Janeiro, Committee of Publication of XII ICSMFE, 13-18 agosto 1989. V.3 cap.20 P.1507-1510.
28. ORTIGÃO, J. A. R. Instrumentação de aterros sobre solos moles: uma revisão de instrumentos e técnicas. Rio de Janeiro, outubro, 1986.
29. _____. Aterro experimental levado a ruptura sobre argila cinza do rio de Janeiro. Rio de Janeiro, junho. 1980.
30. _____. Instrumentação geotécnica. Rio de Janeiro. 1988.
31. PACHECO, Iramir Borba. A instrumentação como elemento de decisão em alternativas não usuais na engenharia de barragens. Porto Alegre, ABMS, 12-16 outubro 1986. V.III MS-2: Obras de terra, P. 163-172.

32. PAOLI, B. DE. Construction and quality control of a 100 m deep diaphragm wall. Rio de Janeiro, Committee de publications of XII ICSMFE, 13-18 agosto 1989. V.3, cap.20, P.1479-1482 .
33. PARAIBA, Companhia de gua e Esgotos da Paraiba. Barragens do Gramame/Mamuaba e canal de interligação - projeto original. João Pessoa, 1978.
34. PECK, R.B. Deep excavation and tunneling in soft ground, State of the art report, State of-the-art vol. ,1969.
35. REMY, J. P. Manual de inspeção e acompanhamento das barragens e estruturas - Barragens Gramame/Mamuaba e canal de interligação. João Pessoa , abril, 1989. 2V.
36. _____. Relatórios de atividades de consultoria, em geotécnica e instrumentação, durante as visitas ao sistema Gramame/mamuaba. João Pessoa, de 1986 a 1989.
37. RIO DE JANEIRO. Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE) Simpósio sobre instrumentação de campo em engenharia de solos e fundações. Rio de Janeiro, novembro, 1975.
38. RODRIGUEZ BADILLO, J.E. Mecânica de suelos. 3.3d. México, Limusa, 1977. 39. ROWE, P.W. Anchored sheet pile walls. OT.I, vol.1.1952 P.27
40. SHERAR, J. L. Statistical survey of the diaphragm wall applications. México, 1969 P. 96
41. SILVA MARQUES, L. Filtração de água em meios porosos não-tecidos (FABRICS). Maringá, Pará, outubro 1984. P.24-26.
42. SOARES, M. Miranda. CARIM, Paulo Roberto V. & RIBAS, José Bonifácio M. Instrumentação de escavações no metrô do Rio de Janeiro. Lima ,Peru. 1979.
43. TECNOSAN ENGENHARIA S/A. Especificações para instalação e leitura dos piezômetros. João Pessoa. outubro, 1987.
44. _____. Especificação para execução da parede diafragma

- R1. João Pessoa, setembro, 1986.
45. _____. Tecnologia de concreto - manual de procedimento de amostragem e ensaio. João Pessoa, janeiro, 1986.
 46. _____. Execução das estruturas de concreto. João Pessoa, janeiro, 1986. 3V. .
 47. _____. Manual de fiscalização de concreto. João Pessoa, 1986.
 48. _____. Barragens de Gramame/Mamuaba, paredes diafragmas, projeto estrutural, memorial de cálculo. João Pessoa, 1985.
 49. TERZAGHI, K. Theoretical soil mechanics, John Wiley and Sons, Inc., New York. 1943.
 50. TERZAGHI, K. & PECH, R. B. Soil mechanics in engineering practice 2nd. ed. John Wiley and Sons, Inc. 1967. New York.
 51. THOMÉ JUC, J. Fernando. Instrumentação geotécnica de barragens de terra. João Pessoa, 1984.
 52. VELLOSO, Dirceu de Alencar & LOPES, Francisco de Resende. Paredes moldadas no solo. Rio de Janeiro, Estacas Franki Ltda, 1976 .
 53. XANTHAKOS, Petros P. Slurry walls. Estados Unidos da América McGraw-hill, 1979.

NORMAS TÉCNICAS

- NBR - 5732 (EB-1) CIMENTO PORTLAND COMUM (fixa condições exigíveis no recebimento de cimento portland comum tipos 250, 320 e 400).
- NBR - 5733 CIMENTO PORTLAND DE ALTA RESISTÊNCIA INICIAL
- NBR - 5735 CIMENTO PORTLAND DE ALTO FORNO
- NBR - 5736 CIMENTO PORTLAND POZOLÂNICO
- NBR - 5737 CIMENTO PORTLAND DE MODERADA RESISTÊNCIA A SULFATOS E MODERADO CALOR DE HIDRATAÇÃO (MRS) E CIMENTO PORTLAND DE ALTA RESISTÊNCIA A SULFATOS (ARS).
- NBR - 5741 CIMENTO, EXTRAÇÃO E PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS
- NBR - 5750 AMOSTRAGEM DO CONCRETO FRESCO RECENTE MISTURADO
- NBR - 7211 (EB-4) AGREGADOS PARA CONCRETO
- NBR - 7216 AMOSTRAGEM DE AGREGADOS
- NBR - 7480 BARRAS E FIOS DESTINADOS A ARMADURAS PARA CONCRETO ARMADO
- NBR - 7810 AGREGADOS - DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA EM ESTADO COMPACTO E SECO
- MB - 857 VERIFICAÇÃO DAS EMENDAS METÁLICAS DE BARRAS PARA CONCRETO ARMADO
- CETESB L1.007 - PLANOS DE AMOSTRAGEM E MÉTODO DE COLETA DE AMOSTRAS DE GUA
- ASTM C - AGREGADOS PARA CONCRETO
- ASTM C - 260 AIR ENTRAINING ADMIXTURES FOR CONCRETE
- ASTM C - 294 DESCRIPTIVE NOMENCLATURE OF CONSTITUENTES OF NATURAL MINERAL AGGREGATES

A N E X O S

BARRAGEM DO GRAMAME
FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS

DATA: 13/MARÇO/90 N.A. DO RESERVATÓRIO: 31,8

PP nº	COTA DE INSTALAÇÃO (m)	LEITURA kg/cm ²	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANTE (kg/cm ²)	NIVEL PIEZOMÉTRICO(m)	OBS:
PP 01	13.29	2,10	2,40	37,29	
PP 02	11.60	2,30	2,50	36,60	
PP 03	9.87	1,00	1,00	19,87	
PP 04	14.02	1,00	1,20	26,02	
PP 05	12.04	1,20	1,50	27,04	
PP 06	9.71	1,60	2,20	31,71	
PP 07	14.98	1,30	1,40	28,98	
PP 08	14.57	0,50	0,50	19,57	
PP 09	13.83	0,85	1,35	22,33	
PP 10	15.22	1,60	1,80	33,22	
PP 11	13.04	1,80	2,25	35,54	
PP 14	13.00	3,00	3,40	47,00	
PP 15	9.13	2,20	2,20	31,13	
PP 17	15.70	0,60	1,05	26,20	
PP 18	15.63	0,60	0,95	25,13	
PP 19	15.05	2,40	3,05	45,55	
PP 20	13.13	2,50	3,00	43,13	
PP 21	9.93	2,20	2,75	37,43	
PP 22	15.91	1,15	1,85	34,41	
PP 23	13.11	PRESSÃO ACIMA DE 9 kg/cm ²			
PP 24	10.52	VAZANDO GÁS			
PP 25	16.07	0,80	1,25	28,57	
PP 26	16.08	1,50	1,30	29,08	
PP 27	16.60	0,90	1,30	29,60	

1 2 3 4 5

4 = 1 + 3 x 10 (m)

BARRAGEM DO GRAMAME
FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS

DATA: 21/MARCO/90 N.A. DO RESERVATÓRIO: 31,8

PP nº	COTA DE INSTALAÇÃO	LEITURA kg /cm ²	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANTE (kg /cm ²)	NIVEL PIEZOMÉTRICO(m)	OBS:
PP 01	13.29	2,40	2,70	40,29	
PP 02	11.60	2,00	2,25	34,10	
PP 03	9.87	1,10	1,10	20,87	
PP 04	14.02	1,00	1,20	26,02	
PP 05	12.04	1,10	1,40	26,04	
PP 06	9.71	1,60	2,20	31,71	
PP 07	14.98	1,50	1,50	29,98	
PP 08	14.57	0,60	0,60	20,57	
PP 09	13.83	0,80	1,30	26,83	
PP 10	15.22	1,70	2,00	35,22	
PP 11	13.04	1,80	2,25	35,54	
PP 14	13.00	3,20	3,55	48,50	
PP 15	9.13	2,20	2,20	31,13	
PP 17	15.70	0,60	1,05	26,20	
PP 18	15.63	0,70	1,05	26,13	
PP 19	15.05	2,60	3,30	48,05	
PP 20	13.13	2,50	3,00	43,13	
PP 21	9.93	2,20	2,75	37,43	
PP 22	15.91	1,20	1,90	34,91	
PP 23	13.11		PRESSÃO ACIMA DE 9 kgf/cm ²		
PP 24	10.52		VAZANDO GÁS		
PP 25	16.07	0,80	1,25	28,57	
PP 26	16.08	2,00	1,70	33,08	
PP 27	16.60	0,80	1,15	28,10	

1 2 3 4 5

4 = 1 + 3 x 10 (m)

BARRAGEM DO GRAMAME
FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS

DATA: 04/ABRIL/90 N.A. DO RESERVATÓRIO: 31,8

PP nº	COTA DE (m) INSTALAÇÃO	LEITURA Kg / Cm ²	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANTE (Kg / Cm ²)	NIVEL PIEZOMÉTRICO(m)	OBS :
PP 01	13.29	2,35	2,65	39,79	
PP 02	11.60	2,50	2,75	39,10	
PP 03	9.87	2,30	2,00	29,87	
PP 04	14.02	1,40	1,50	29,02	
PP 05	12.04	1,50	1,80	30,04	
PP 06	9.71	2,40	2,90	38,71	
PP 07	14.98	APARTIR DESTA DATA COLOU O DIAFRAGMA			
PP 08	14.57	0,85	0,80	22,57	
PP 09	13.83	1,05	1,50	28,83	
PP 10	15.22	1,80	2,10	36,22	
PP 11	13.04	1,80	2,25	35,54	
PP 14	13.00	1,50	2,25	35,50	
PP 15	9.13	2,20	2,20	31,13	
PP 17	15.70	0,90	1,40	29,70	
PP 18	15.63	0,85	1,25	28,13	
PP 19	15.05	2,60	3,30	48,05	
PP 20	13.13	2,50	3,00	43,13	
PP 21	9.93	2,20	2,75	37,43	
PP 22	15.91	1,30	2,00	35,91	
PP 23	13.11		PRESSÃO ALTA		
PP 24	10.52		VAZANDO GÁS		
PP 25	16.07	0,85	1,50	29,07	
PP 26	16.08	2,00	1,70	33,08	
PP 27	16.60	0,80	1,15	28,10	

4 = 1 + 3 x 10 (m)

BARRAGEM DO GRAMAME
FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS

DATA: 25/ABRIL/90 N.A. DO RESERVATÓRIO: 31,8

PP nº	COTA DE INSTALAÇÃO	LEITURA kg / cm ²	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANTE (kg / cm ²)	NIVEL PIEZOMÉTRICO(m)	OBS :
PP 01	13.29	2,30	2,60	39,29	
PP 02	11.60	2,50	2,75	39,10	
PP 03	9.87	4,20	3,30	42,87	
PP 04	14.02	1,20	1,35	27,52	
PP 05	12.04	1,40	1,75	29,54	
PP 06	9.71	2,20	2,70	36,71	
PP 07	14.98	-----	-----	-----	-----
PP 08	14.57	0,75	0,75	22,07	
PP 09	13.83	0,90	1,40	27,83	
PP 10	15.22	2,00	2,30	38,22	
PP 11	13.04	3,30	3,60	49,04	
PP 14	13.00	1,50	2,25	35,50	
PP 15	9.13	2,30	2,25	31,63	
PP 17	15.70	0,85	1,35	29,20	
PP 18	15.63	0,85	1,25	28,13	
PP 19	15.05	3,30	4,00	55,05	
PP 20	13.13	2,50	3,00	43,13	
PP 21	9.93	2,30	2,80	37,93	
PP 22	15.91	1,35	2,05	36,41	
PP 23	13.11		PRESSÃO ALTA		
PP 24	10.52		VAZANDO GÁS		
PP 25	16.07	0,85	1,30	29,07	
PP 26	16.08	2,80	2,30	39,08	
PP 27	16.60	1,00	1,40	30,60	

1 2 3 4 5

4 = 1 + 3 x 10 (m)

BARRAGEM DO GRAMAME
FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS

DATA: 10/MAIO/90 N.A. DO RESERVATÓRIO: 32,4

PP nº	COTA DE INSTALAÇÃO	LEITURA Kg /cm ²	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANTE (Kg /cm ²)	NIVEL PIEZOMÉTRICO(m)	OBS :
PP 01	13.29	2,50	2,60	39,29	
PP 02	11.60	2,20	2,45	36,10	
PP 03	9.87	4,00	3,25	42,37	
PP 04	14.02	1,10	1,30	27,02	
PP 05	12.04	1,40	1,75	29,54	
PP 06	9.71	2,00	2,55	35,21	
PP 07	14.98		COLOU DIAFRAGMA		
PP 08	14.57	0,90	0,85	23,07	
PP 09	13.83	1,10	1,55	29,53	
PP 10	15.22	1,90	2,20	37,22	
PP 11	13.04	2,00	2,45	37,54	
PP 14	13.00	1,50	2,25	35,50	
PP 15	9.13	2,20	2,20	31,13	
PP 17	15.70	0,90	1,40	29,70	
PP 18	15.63	0,85	1,25	28,13	
PP 19	15.05	2,70	3,35	48,55	
PP 20	13.13	2,60	3,05	43,63	
PP 21	9.93	2,40	2,90	38,93	
PP 22	15.91	1,40	2,10	36,91	
PP 23	13.11		PRESSÃO ALTA		
PP 24	10.52		VAZANDO GÁS		
PP 25	16.07	0,85	1,50	29,07	
PP 26	16.08	3,00	2,40	40,08	
PP 27	16.60	1,10	1,45	31,10	

1 2 3 4 5

4 = 1 + 3 x 10 (m)

BARRAGEM DO GRAMAME
FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS

DATA: 30/MAIO/90 N.A. DO RESERVATÓRIO: 33,0

PP nº	COTA DE INSTALAÇÃO	LEITURA kg /cm ²	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANTE (kg /cm ²)	NIVEL PIEZOMÉTRICO(m)	OBS :
PP 01	13.29	2,70	2,95	42,79	
PP 02	11.60	2,50	2,75	39,10	
PP 03	9.87	4,00	3,25	42,37	
PP 04	14.02	2,50	2,20	36,02	
PP 05	12.04	2,80	3,00	42,04	
PP 06	9.71	3,00	3,50	44,71	
PP 07	14.98	-----	-----	-----	
PP 08	14.57	2,00	2,00	34,57	
PP 09	13.83	1,90	2,20	35,83	
PP 10	15.22	1,50	1,85	33,72	
PP 11	13.04	1,40	1,90	32,04	
PP 14	13.00	1,00	1,75	30,50	
PP 15	9.13	1,70	1,70	26,16	
PP 17	15.70	0,70	1,20	27,70	
PP 18	15.63	0,70	1,05	26,13	
PP 19	15.05	2,20	2,80	43,05	
PP 20	13.13	2,40	2,80	41,13	
PP 21	9.93	2,00	2,50	34,93	
PP 22	15.91	0,90	1,65	32,41	
PP 23	13.11	-----	-----	-----	
PP 24	10.52	2,60	3,00	40,52	
PP 25	16.07	0,65	1,10	27,07	
PP 26	16.08	3,80	3,00	46,08	
PP 27	16.60	1,15	1,50	31,60	
	1	2	3	4	5

4 = 1 + 3 x 10 (m)

BARRAGEM DO GRAMAME
FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS

DATA: 20/NOVEMBRO/90 N.A. DO RESERVATÓRIO: 34,0

PP nº	COTA DE INSTALAÇÃO	LEITURA Kg / Cm ²	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANTE (Kg / Cm ²)	NIVEL PIEZOMÉTRICO(m)	OBS :
PP 01	13.29	3,40	3,70	50,29	
PP 02	11.60	3,70	3,85	50,10	
PP 03	9.87	-----	-----	-----	
PP 04	14.02	4,20	3,35	47,52	
PP 05	12.04	3,80	4,00	52,04	
PP 06	9.71	3,40	3,80	47,71	
PP 07	14.98	-----	-----	-----	
PP 08	14.57	2,30	2,30	37,57	
PP 09	13.83	2,30	2,50	38,83	
PP 10	15.22	-----	-----	-----	
PP 11	13.04	-----	-----	-----	
PP 14	13.00	3,70	3,95	52,50	
PP 15	9.13	3,70	3,45	43,63	
PP 17	15.70	2,70	3,20	47,70	
PP 18	15.63	2,80	3,05	46,13	
PP 19	15.05	4,30	4,90	64,05	
PP 20	13.13	3,50	3,75	50,63	
PP 21	9.93	3,90	4,30	52,93	
PP 22	15.91	3,20	3,70	52,91	
PP 23	13.11	3,40	3,35	46,61	LIDO
PP 24	10.52	3,80	3,80	48,52	
PP 25	16.07	2,00	2,40	40,07	
PP 26	16.08	5,00	3,70	55,08	
PP 27	16.60	2,00	2,30	39,60	

1 2 3 4 5

4 = 1 + 3 x 10 (m)

BARRAGEM DO GRAMAME
FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS

DATA: 20/DEZEMBRO/90 N.A. DO RESERVATÓRIO: 53,8

PP nº	COTA DE INSTALAÇÃO	LEITURA Kg / cm ²	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANTE (Kg / cm ²)	NIVEL PIEZOMÉTRICO(m)	OBS :
PP 01	13.29	3,50	3,80	51,29	
PP 02	11.60	3,70	3,85	50,10	
PP 03	9.87	-----	-----	-----	DEFEITO
PP 04	14.02	3,60	2,85	42,52	
PP 05	12.04	3,60	3,80	50,04	
PP 06	9.71	A PARTIR DESTA DATA DEU DEFEITO (*)			
PP 07	14.98	A PARTIR DESTA DATA DEU DEFEITO (*)			
PP 08	14.57	2,00	2,00	34,57	
PP 09	13.83	2,20	2,40	37,83	
PP 10	15.22	-----	-----	-----	-----
PP 11	13.04	-----	-----	-----	-----
PP 14	13.00	3,70	3,95	52,50	
PP 15	9.13	3,90	3,60	45,13	
PP 17	15.70	2,80	3,30	48,70	
PP 18	15.63	2,70	3,00	45,63	
PP 19	15.05	4,50	5,15	66,55	
PP 20	13.13	4,00	4,00	53,13	
PP 21	9.93	4,30	4,75	57,43	
PP 22	15.91	3,50	3,95	55,41	
PP 23	13.11	3,80	3,70	50,11	
PP 24	10.52	4,10	4,05	51,02	
PP 25	16.07	2,50	2,85	44,57	
PP 26	16.08	5,00	5,70	53,08	
PP 27	16.60	2,50	2,75	44,10	

4 = 1 + 3 x 10 (m)

(*) O RATO SECCIONOU

BARRAGEM DO GRAMAME
FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS

DATA: 23/JANEIRO/91 N.A. DO RESERVATÓRIO: 33,5

PP nº	COTA DE INSTALAÇÃO	LEITURA Kg /cm ²	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANTE (Kg /cm ²)	NIVEL PIEZOMÉTRICO(m)	OBS :
PP 01	13.29	3,30	3,60	49,29	
PP 02	11.60	3,40	3,60	47,60	
PP 03	9.87	-----	-----	-----	
PP 04	14.02	3,20	2,70	41,02	
PP 05	12.04	3,50	3,70	49,04	
PP 06	9.71	-----	-----	-----	
PP 07	14.98	-----	-----	-----	
PP 08	14.57	1,90	1,95	34,07	
PP 09	13.83	2,00	2,25	36,33	
PP 10	15.22	-----	-----	-----	
PP 11	13.04	-----	-----	-----	
PP 14	13.00	2,90	3,35	46,50	
PP 15	9.13	3,50	3,50	42,13	
PP 17	15.70	2,20	2,70	42,70	
PP 18	15.63	2,20	2,55	41,13	
PP 19	15.05	3,80	4,45	59,55	
PP 20	13.13	3,50	3,75	50,63	
PP 21	9.93	3,70	4,10	50,93	
PP 22	15.91	2,80	3,30	48,91	
PP 23	13.11	3,00	2,95	42,61	
PP 24	10.52	3,50	3,60	46,52	
PP 25	16.07	1,80	2,15	37,57	
PP 26	16.08	5,80	4,00	56,08	
PP 27	16.60	1,80	2,10	37,60	
	1	2	3	4	5

4 = 1 + 3 x 10 (m)

BARRAGEM DO GRAMAME
FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS

DATA: 20/FEVEREIRO/91 N.A. DO RESERVATÓRIO: 33,0

PP nº	COTA DE INSTALAÇÃO	LEITURA Kg /cm ²	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANTE (Kg /cm ²)	NIVEL PIEZOMÉTRICO(m)	OBS :
PP 01	13.29	3,30	3,60	49,29	
PP 02	11.60	3,50	3,75	49,10	
PP 03	9.87	-----	-----	-----	-----
PP 04	14.02	3,50	2,90	43,02	
PP 05	12.04	3,50	3,70	49,04	
PP 06	9.71	-----	-----	-----	-----
PP 07	14.98	-----	-----	-----	-----
PP 08	14.57	1,80	1,85	33,07	
PP 09	13.83	1,90	2,20	35,83	
PP 10	15.22	-----	-----	-----	-----
PP 11	13.04	-----	-----	-----	-----
PP 14	13.00	3,00	3,40	47,00	
PP 15	9.13	3,00	3,00	39,13	
PP 17	15.70	1,80	2,30	38,70	
PP 18	15.63	1,90	2,20	37,63	
PP 19	15.05	3,20	3,90	54,05	
PP 20	13.13	3,30	3,60	49,13	
PP 21	9.93	3,60	4,00	49,93	
PP 22	15.91	3,00	3,50	50,91	
PP 23	13.11	2,70	2,65	39,61	
PP 24	10.52	3,40	3,50	45,52	
PP 25	16.07	1,80	2,15	37,57	
PP 26	16.08	5,80	4,00	56,08	
PP 27	16.60	1,70	2,00	36,60	

1 2 3 4 5

4 = 1 + 3 x 10 (m)

BARRAGEM DO GRAMAME
FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS

DATA: 20/MARÇO/91 N.A. DO RESERVATÓRIO: 33,0

PP nº	COTA DE INSTALAÇÃO	LEITURA Kg /cm ²	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANTE (Kg /cm ²)	NIVEL PIEZOMÉTRICO(m)	OBS :
PP 01	13.29	2,60	2,90	42,29	
PP 02	11.60	2,80	3,05	42,10	
PP 03	9.87	-----	-----	-----	-----
PP 04	14.02	2,00	1,65	30,52	
PP 05	12.04	2,00	2,20	34,04	
PP 06	9.71	-----	-----	-----	-----
PP 07	14.98	-----	-----	-----	-----
PP 08	14.57	A PARTIR DESTA DATA DEU DEFEITO (*)			
PP 09	13.83	1,30	1,70	30,83	
PP 10	15.22	4,00	4,25	57,72	DESCOLOU
PP 11	13.04	4,20	4,50	58,04	DESCOLOU
PP 14	13.00	2,90	3,35	46,50	
PP 15	9.13	2,60	2,60	35,13	
PP 17	15.70	1,20	1,70	32,70	
PP 18	15.63	1,10	1,45	30,13	
PP 19	15.05	2,60	3,30	48,05	
PP 20	13.13	2,90	3,45	47,63	
PP 21	9.93	3,00	3,50	44,93	
PP 22	15.91	2,90	3,40	49,91	
PP 23	13.11	1,70	1,70	30,11	
PP 24	10.52	3,10	3,35	44,02	
PP 25	16.07	1,20	1,65	32,57	
PP 26	16.08	3,00	2,40	40,08	
PP 27	16.60	1,20	1,55	32,10	

1 2 3 4 5

4 = 1 + 3 x 10 (m)

(*) OBS.: O RATO SECCIONOU

BARRAGEM DO GRAMAME
FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS

DATA: 24/ABRIL/91 N.A. DO RESERVATÓRIO: 33,0

PP nº	COTA DE INSTALAÇÃO	LEITURA Kg / Cm ²	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANTE (Kg / Cm ²)	NIVEL PIEZOMÉTRICO(m)	OBS :
PP 01	13.29	2,60	2,90	42,29	
PP 02	11.60	3,00	3,20	43,60	
PP 03	9.87	-----	-----	-----	
PP 04	14.02	2,00	1,65	30,52	
PP 05	12.04	1,90	2,15	33,54	
PP 06	9.71	-----	-----	-----	
PP 07	14.98	-----	-----	-----	
PP 08	14.57	-----	-----	-----	
PP 09	13.83	1,30	1,70	30,83	
PP 10	15.22	5,10	5,25	67,72	
PP 11	13.04	5,30	5,55	68,54	
PP 14	13.00	2,10	2,70	40,00	
PP 15	9.13	2,70	2,70	36,13	
PP 17	15.70	1,30	1,80	33,70	
PP 18	15.63	1,30	1,65	32,13	
PP 19	15.05	2,80	3,50	50,05	
PP 20	13.13	3,00	3,50	48,13	
PP 21	9.93	3,00	3,50	44,93	
PP 22	15.91	1,90	2,55	41,41	
PP 23	13.11	1,80	1,80	31,11	
PP 24	10.52	3,00	3,25	43,02	
PP 25	16.07	1,20	1,65	32,57	
PP 26	16.08	3,00	2,40	40,08	
PP 27	16.60	1,25	1,55	32,10	
	1	2	3	4	5

4 = 1 + 3 x 10 (m)

BARRAGEM DO GRAMAME
FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS

DATA: 22/MAIO/91 N.A. DO RESERVATÓRIO: 33,7

PP nº	COTA DE INSTALAÇÃO	LEITURA Kg /cm ²	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANTE (Kg /cm ²)	NIVEL PIEZOMÉTRICO(m)	OBS :
PP 01	13.29	2,70	2,95	42,79	
PP 02	11.60	3,00	3,20	43,60	
PP 03	9.87	-----	-----	-----	-----
PP 04	14.02	2,20	2,00	34,02	
PP 05	12.04	2,20	2,45	36,54	
PP 06	9.71	-----	-----	-----	-----
PP 07	14.98	-----	-----	-----	-----
PP 08	14.57	-----	-----	-----	-----
PP 09	13.83	1,40	1,75	31,33	
PP 10	15.22	6,00	6,10	76,55	
PP 11	13.04	6,20	6,35	76,54	
PP 14	13.00	2,40	2,95	42,50	
PP 15	9.13	3,00	3,00	39,13	
PP 17	15.70	1,55	2,05	36,20	
PP 18	15.63	1,60	1,90	34,63	
PP 19	15.05	2,80	3,50	50,05	
PP 20	13.13	3,00	3,50	48,13	
PP 21	9.93	3,10	3,55	45,43	
PP 22	15.91	2,00	2,65	42,41	
PP 23	13.11	1,80	1,80	31,11	
PP 24	10.52	3,20	3,40	44,52	
PP 25	16.07	1,25	1,70	33,07	
PP 26	16.08	3,15	2,50	41,08	
PP 27	16.60	1,30	1,70	33,60	
	1	2	3	4	5

4 = 1 + 3 x 10 (m)

BARRAGEM DO GRAMAME
FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS

DATA: 20/JUNHO/91 N.A. DO RESERVATÓRIO: 34,8

PP nº	COTA DE INSTALAÇÃO	LEITURA Kg / cm ²	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANTE (Kg / cm ²)	NÍVEL PIEZOMÉTRICO(m)	OBS :
PP 01	13.29	2,80	2,30	36,29	
PP 02	11.60	3,10	3,30	44,60	
PP 03	9.87	-----	-----	-----	
PP 04	14.02	2,10	1,95	33,52	
PP 05	12.04	2,00	2,20	34,04	
PP 06	9.71	-----	-----	-----	
PP 07	14.98	-----	-----	-----	
PP 08	14.57	-----	-----	-----	
PP 09	13.83	1,40	1,75	31,33	
PP 10	15.22	5,80	5,90	74,22	
PP 11	13.04	6,50	6,65	79,54	
PP 14	13.00	2,20	2,80	41,00	
PP 15	9.13	2,80	2,80	37,13	
PP 17	15.70	1,40	1,95	35,20	
PP 18	15.63	1,35	1,70	32,63	
PP 19	15.05	3,00	3,70	52,05	
PP 20	13.13	3,20	3,60	49,13	
PP 21	9.93	3,20	3,65	46,43	
PP 22	15.91	3,00	3,50	50,91	
PP 23	13.11	1,80	1,80	31,11	
PP 24	10.52	3,20	3,40	44,52	
PP 25	16.07	1,50	1,75	33,57	
PP 26	16.08	3,20	2,55	41,58	
PP 27	16.60	1,30	1,70	33,60	

4 = 1 + 3 x 10 (m)

BARRAGEM DO GRAMAME
FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS

DATA: 24/JULHO/91 N.A. DO RESERVATÓRIO: 34,9

PP nº	COTA DE INSTALAÇÃO	LEITURA Kg /cm ²	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANTE (Kg /cm ²)	NIVEL PIEZOMÉTRICO(m)	OBS :
PP 01	13.29	2,80	2,30	36,29	
PP 02	11.60	3,10	3,30	44,60	
PP 03	9.87	-----	-----	-----	
PP 04	14.02	2,10	1,95	33,52	
PP 05	12.04	2,00	2,20	34,04	
PP 06	9.71	-----	-----	-----	
PP 07	14.98	-----	-----	-----	
PP 08	14.57	-----	-----	-----	
PP 09	13.83	1,40	1,75	31,33	
PP 10	15.22	5,30	5,45	69,72	
PP 11	13.04	6,30	6,45	77,54	
PP 14	13.00	2,30	2,90	42,00	
PP 15	9.13	2,80	2,80	37,13	
PP 17	15.70	1,40	1,95	35,20	
PP 18	15.63	1,40	1,75	33,13	
PP 19	15.05	2,90	3,60	51,05	
PP 20	13.13	3,10	3,55	48,63	
PP 21	9.93	3,20	3,65	46,43	
PP 22	15.91	2,00	2,65	42,41	
PP 23	13.11	1,90	1,90	32,11	
PP 24	10.52	3,20	3,40	44,52	
PP 25	16.07	1,30	1,75	33,57	
PP 26	16.08	3,30	2,70	43,08	
PP 27	16.60	1,30	1,70	33,60	
	1	2	3	4	5

4 = 1 + 3 x 10 (m)

BARRAGEM DO GRAMAME
FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS

DATA: 02/AGOSTO/91 N.A. DO RESERVATÓRIO: 35,0 (Sangrou
 nesta semana, dia 02 de agosto)

PP nº	COTA DE INSTALAÇÃO	LEITURA kg / cm ²	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANTE (kg / cm ²)	NIVEL PIEZOMÉTRICO(m)	OBS :
PP 01	13.29	3,35	3,60	49,29	
PP 02	11.60	3,50	3,70	48,60	
PP 03	9.87	-----	-----	-----	
PP 04	14.02	3,00	2,55	39,52	
PP 05	12.04	2,40	2,60	38,04	
PP 06	9.71	-----	-----	-----	
PP 07	14.98	-----	-----	-----	
PP 08	14.57	-----	-----	-----	
PP 09	13.83	1,70	2,00	33,83	
PP 10	15.22	5,40	5,55	70,72	
PP 11	13.04	7,35	7,45	87,54	
PP 14	13.00	2,30	2,90	42,00	
PP 15	9.13	3,00	3,00	39,13	
PP 17	15.70	1,50	2,00	35,70	
PP 18	15.63	1,35	1,70	32,63	
PP 19	15.05	3,00	3,70	52,05	
PP 20	13.13	3,40	3,70	50,13	
PP 21	9.93	3,50	3,90	48,93	
PP 22	15.91	1,90	2,55	41,41	
PP 23	13.11	2,10	2,10	34,11	
PP 24	10.52	2,90	3,20	42,52	
PP 25	16.07	1,60	2,00	36,07	
PP 26	16.08	3,50	2,85	44,58	
PP 27	16.60	1,50	1,85	35,10	
	1	2	3	4	5

4 = 1 + 3 x 10 (m)

BARRAGEM DO GRAMAME
FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS

DATA: 07/AGOSTO/91 N.A. DO RESERVATÓRIO: 35,0 (Sangrando)

PP nº	COTA DE INSTALAÇÃO	LEITURA Kg /cm ²	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANTE (Kg /cm ²)	NIVEL PIEZOMÉTRICO(m)	OBS :
PP 01	13.29	3,35	3,60	49,29	
PP 02	11.60	3,50	3,70	48,60	
PP 03	9.87	-----	-----	-----	
PP 04	14.02	2,90	2,50	39,02	
PP 05	12.04	2,90	3,10	43,04	
PP 06	9.71	-----	-----	-----	
PP 07	14.98	-----	-----	-----	
PP 08	14.57	-----	-----	-----	
PP 09	13.83	1,70	2,00	33,83	
PP 10	15.22	6,00	6,10	76,22	
PP 11	13.04	6,00	6,20	75,04	
PP 14	13.00	2,40	2,95	42,50	
PP 15	9.13	3,10	3,05	39,63	
PP 17	15.70	1,60	2,10	36,70	
PP 18	15.63	1,60	1,90	34,63	
PP 19	15.05	3,10	3,80	53,05	
PP 20	13.13	3,30	3,60	49,13	
PP 21	9.93	3,30	3,75	47,43	
PP 22	15.91	2,20	2,80	43,91	
PP 23	13.11	2,10	2,10	34,11	
PP 24	10.52	3,50	3,60	46,52	
PP 25	16.07	1,40	1,85	34,57	
PP 26	16.08	3,50	2,85	44,58	
PP 27	16.60	1,50	1,85	35,10	

4 x 1 + 3 x 10 (m)

BARRAGEM DO GRAMAME
FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS

DATA: 22/AGOSTO/91 N.A. DO RESERVATÓRIO: 35,0 (Sangrando)

PP nº	COTA DE INSTALAÇÃO	LEITURA Kg /cm ²	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANTE (Kg /cm ²)	NIVEL PIEZOMÉTRICO(m)	OBS :
PP 01	13.29	3,10	3,40	47,29	
PP 02	11.60	3,40	3,60	47,60	
PP 03	9.87	-----	-----	-----	-----
PP 04	14.02	2,60	2,30	37,02	
PP 05	12.04	2,30	2,50	37,04	
PP 06	9.71	-----	-----	-----	-----
PP 07	14.98	-----	-----	-----	-----
PP 08	14.57	-----	-----	-----	-----
PP 09	13.83	1,60	1,90	32,83	
PP 10	15.22	5,60	5,75	72,72	
PP 11	13.04	6,70	6,85	81,54	
PP 14	13.00	2,40	2,95	42,50	
PP 15	9.13	3,00	3,00	39,13	
PP 17	15.70	1,60	2,10	36,70	
PP 18	15.63	A PARTIR DESTA DATA DEU DEFEITO (*)			
PP 19	15.05	3,10	3,80	53,05	
PP 20	13.13	3,30	3,60	49,13	
PP 21	9.93	3,40	3,80	47,93	
PP 22	15.91	2,25	2,85	44,41	
PP 23	13.11	2,10	2,10	34,11	
PP 24	10.52	3,45	3,55	46,02	
PP 25	16.07	1,50	1,90	35,07	
PP 26	16.08	3,50	2,85	44,58	
PP 27	16.60	1,50	1,85	35,10	

4 = 1 + 3 x 10 (m)

(*) OBS.: O RATO SECCIONOU

BARRAGEM DO GRAMAMÉ
FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS

DATA: 03/SETEMBRO/91 N.A. DO RESERVATÓRIO: 35,0 (Sangrando)

PP nº	COTA DE INSTALAÇÃO	LEITURA Kg / Cm ²	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANTE (Kg / Cm ²)	NIVEL PIEZOMÉTRICO(m)	OBS :
PP 01	13.29	3,50	3,75	50,79	
PP 02	11.60	3,60	3,80	49,60	
PP 03	9.87	-----	-----	-----	
PP 04	14.02	3,10	2,60	40,02	
PP 05	12.04	3,00	3,20	44,02	
PP 06	9.71	-----	-----	-----	
PP 07	14.98	-----	-----	-----	
PP 08	14.57	-----	-----	-----	
PP 09	13.83	2,00	2,25	36,33	
PP 10	15.22	8,00	8,00	95,22	
PP 11	13.04	6,20	6,40	77,04	
PP 14	13.00	2,50	3,00	43,20	
PP 15	9.13	3,20	3,20	41,13	
PP 17	15.70	1,70	2,05	36,20	
PP 18	15.63		O RATO ROEU		
PP 19	15.05	3,10	3,80	53,05	
PP 20	13.13	3,30	3,60	49,13	
PP 21	9.93	3,60	4,00	49,93	
PP 22	15.91	2,50	3,10	46,91	
PP 23	13.11	2,50	2,45	37,61	
PP 24	10.52	3,70	3,75	48,02	
PP 25	16.07	1,60	2,00	56,07	
PP 26	16.08	4,70	3,55	51,58	
PP 27	16.60	1,50	1,85	35,10	

4 = 1 + 3 x 10 (m)

BARRAGEM DO GRAMAME
FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS

DATA: 08/JANEIRO/92 N.A. DO RESERVATÓRIO: 33,0

PP nº	COTA DE INSTALAÇÃO	LEITURA Kg / cm ²	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANTE (Kg / cm ²)	NIVEL PIEZOMÉTRICO(m)	OBS :
PP 01	13.29	3,40	3,70	50,29	
PP 02	11.60	3,50	3,70	48,60	
PP 03	9.87	-----	-----	-----	
PP 04	14.02	3,00	2,55	39,52	
PP 05	12.04	2,90	3,10	43,04	
PP 06	9.71	-----	-----	-----	
PP 07	14.98	-----	-----	-----	
PP 08	14.57	-----	-----	-----	
PP 09	13.83	1,90	2,20	35,83	
PP 10	15.22	7,30	7,35	88,72	
PP 11	13.04	6,20	6,35	76,54	
PP 14	13.00	2,45	3,00	43,00	
PP 15	9.13	3,00	3,00	39,13	
PP 17	15.70	1,60	2,10	36,70	
PP 18	15.63		O RATO ROEU		
PP 19	15.05	3,00	3,70	52,05	
PP 20	13.13	3,25	3,60	49,13	
PP 21	9.93	3,30	3,75	47,43	
PP 22	15.91	2,30	2,90	44,91	
PP 23	13.11	2,20	2,15	34,61	
PP 24	10.52	3,40	3,55	46,02	
PP 25	16.07	1,45	1,90	35,07	
PP 26	16.08	4,15	3,25	48,58	
PP 27	16.60	1,50	1,85	35,10	
	1	2	3	4	5

4 = 1 + 3 x 10 (m)

BARRAGEM DE MAMUABA
FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS

DATA: 13/MARÇO/90 N.A. DO RESERVATÓRIO: 31,8

PP nº	COTA DE INSTALAÇÃO	LEITURA Kg/cm ²	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANTE (Kg/cm ²)	NIVEL PIEZOMÉTRICO(m)	OBS :
PP 02	17.20		PRESSÃO ACIMA DE 9Kgf/cm ²		
PP 03	7.33		PRESSÃO ACIMA DE 9Kgf/cm ²		
PP 05	17.18	1,20	1,50	52,18	
PP 06	7.39		VAZANDO GÁS		
PP 07	16.35	3,10	3,10	47,35	
PP 08	17.08		PRESSÃO ACIMA DE 9Kgf/cm ²		
PP 10	16.72	1,60	1,50	31,72	
PP 12	7.00	2,45	2,70	34,00	
PP 13	17.21	0,70	0,70	24,21	
PP 14	10.66	1,20	1,15	22,16	
PP 15	7.29	1,80	1,75	24,79	
PP 16	15.76		VAZANDO GÁS		
PP 17	16.13	0,50	0,95	25,63	
PP 18	16.17	0,80	NÃO POSSUI A CURVA		
PP 19	11.16	2,00	2,45	35,66	
PP 20	18.59	1,90	2,10	39,59	
PP 21	8.96	2,00	2,00	28,96	
PP 22	11.77	0,90	1,20	23,77	
PP 24	8.72	1,60	2,00	28,72	
PP 25	15.79	0,60	0,80	23,79	
PP 26	15.86	0,38	0,80	23,86	
PP 27	13.73	0,64	0,90	22,73	

1 2 3 4 5

4 = 1 + 3 x 10 (m)

BARRAGEM DE MAMUABA
FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS

DATA: 21/MARÇO/90 N.A. DO RESERVATÓRIO: 31,8

PP nº	COTA DE INSTALAÇÃO	LEITURA Kg/cm ²	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANTE (Kg/cm ²)	NÍVEL PIEZOMÉTRICO(m)	OBS :
PP 02	17.20	-----	-----	-----	-----
PP 03	7.33	-----	-----	-----	-----
PP 05	17.18	1,05	1,35	30,68	
PP 06	7.39	-----	-----	-----	-----
PP 07	16.35	3,10	3,10	47,35	
PP 08	17.08	-----	-----	-----	-----
PP 10	16.72	1,70	1,60	32,72	
PP 12	7.00	2,50	2,70	34,00	
PP 13	17.21	0,70	0,70	24,21	
PP 14	10.66	1,10	1,00	20,66	
PP 15	7.29	2,00	1,95	26,79	
PP 16	15.76	-----	-----	-----	-----
PP 17	16.13	0,45	0,90	25,13	
PP 18	16.17	0,80	-----	-----	-----
PP 19	11.16	2,95	3,20	43,16	
PP 20	18.59	1,75	1,90	37,59	
PP 21	8.96	2,10	2,10	29,96	
PP 22	11.77	1,10	1,30	24,77	
PP 24	8.72	2,00	2,25	31,22	
PP 25	15.79	1,00	1,15	27,29	
PP 26	15.86	0,60	0,90	24,86	
PP 27	13.73	0,70	1,00	23,73	

1 2 3 4 5

4 = 1 + 3 x 10 (m)

BARRAGEM DE MAMUABA
FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS

DATA: 04/ABRIL/90 N.A. DO RESERVATÓRIO: 31,8

PP nº	COTA DE INSTALAÇÃO	LEITURA Kg/cm ²	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANTE (Kg/cm ²)	NIVEL PIEZOMÉTRICO(m)	OBS :
PP 02	17.20	-----	-----	-----	-----
PP 03	7.33	-----	-----	-----	-----
PP 05	17.18	1,40	1,70	34,18	
PP 06	7.39	-----	-----	-----	-----
PP 07	16.35	3,15	3,15	47,85	
PP 08	17.08	-----	-----	-----	-----
PP 10	16.72	1,70	1,60	32,72	
PP 12	7.00	2,50	2,75	34,50	
PP 13	17.21	0,72	0,72	24,41	
PP 14	10.66	1,20	1,15	22,16	
PP 15	7.29	1,75	1,70	24,29	
PP 16	15.76	-----	-----	-----	-----
PP 17	16.13	0,50	0,95	25,63	
PP 18	16.17	0,85			
PP 19	11.16	2,90	3,20	43,16	
PP 20	18.59	1,80	2,00	38,59	
PP 21	8.96	2,00	2,00	28,96	
PP 22	11.77	1,00	1,30	24,77	
PP 24	8.72	1,75	2,10	29,72	
PP 25	15.79	1,40	1,50	30,79	
PP 26	15.86	0,50	0,75	23,36	
PP 27	13.73	0,65	0,90	22,73	

1

2

3

4

5

4 = 1 + 3 x 10 (m)

BARRAGEM DE MAMUABA
FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS

DATA: 25/ABRIL/90 N.A. DO RESERVATÓRIO: 31,8

PP nº	COTA DE INSTALAÇÃO	LEITURA kg/cm ²	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANTE (kg/cm ²)	NIVEL PIEZOMÉTRICO(m)	OBS :
PP 02	17.20	-----	-----	-----	-----
PP 03	7.33	-----	-----	-----	-----
PP 05	17.18	1,00	1,35	30,68	
PP 06	7.39	-----	-----	-----	-----
PP 07	16.35	3,20	3,20	48,35	
PP 08	17.08	-----	-----	-----	-----
PP 10	16.72	1,65	1,60	32,72	
PP 12	7.00	2,40	2,65	33,50	
PP 13	17.21	0,60	0,60	23,21	
PP 14	10.66	1,00	0,90	19,66	
PP 15	7.29	1,70	1,70	24,29	
PP 16	15.76	-----	-----	-----	-----
PP 17	16.13	0,50	0,95	25,63	
PP 18	16.17	0,80			
PP 19	11.16	2,50	2,85	39,66	
PP 20	18.59	1,70	1,90	37,59	
PP 21	8.96	2,00	2,00	28,96	
PP 22	11.77	1,10	1,35	25,27	
PP 24	8.72	2,00	2,35	32,22	
PP 25	15.79	1,10	1,20	27,79	
PP 26	15.86	0,55	0,85	24,36	
PP 27	13.73	0,65	0,90	22,73	

1 2 3 4 5

4 = 1 + 3 x 10 (m)

BARRAGEM DE MAMUABA
FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS

DATA: 10/MAIO/90 N.A. DO RESERVATÓRIO: 32,4

PP nº	COTA DE INSTALAÇÃO	LEITURA kg/cm ²	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANTE (kg/cm ²)	NÍVEL PIEZOMÉTRICO(m)	OBS :
PP 02	17.20	-----	-----	-----	-----
PP 03	7.33	-----	-----	-----	-----
PP 05	17.18	0,75	1,05	27,68	
PP 06	7.39	-----	-----	-----	-----
PP 07	16.35	2,00	2,15	37,85	
PP 08	17.08	-----	-----	-----	-----
PP 10	16.72	0,80	0,70	23,72	
PP 12	7.00	1,75	1,95	26,50	
PP 13	17.21	0,40	0,40	21,21	
PP 14	10.66	0,70	0,65	17,16	
PP 15	7.29	1,15	1,15	18,79	
PP 16	15.76	-----	-----	-----	-----
PP 17	16.13	0,30	0,75	23,63	
PP 18	16.17	0,50			
PP 19	11.16	2,50	2,85	39,66	
PP 20	18.59	1,50	1,70	35,59	
PP 21	8.96	1,90	1,90	27,96	
PP 22	11.77	1,00	1,30	24,77	
PP 24	8.72	1,40	1,80	26,72	
PP 25	15.79	0,60	0,80	23,79	
PP 26	15.86	0,40	0,75	23,36	
PP 27	13.73	0,30	0,60	19,73	

1

2

3

4

5

4 = 1 + 3 x 10 (m)

BARRAGEM DE MAMUABA
FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS

DATA: 30/MAIO/90 N.A. DO RESERVATÓRIO: 33,0

PP nº	COTA DE INSTALAÇÃO	LEITURA Kg / Cm ²	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANTE (Kg / Cm ²)	NIVEL PIEZOMÉTRICO(m)	OBS :
PP 02	17.20	-----			
PP 03	7.33	-----			
PP 05	17.18	0,80	1,10	28,18	
PP 06	7.39	-----			
PP 07	16.35	2,20	2,30	39,35	
PP 08	17.08	-----			
PP 10	16.72	1,65	1,60	32,72	
PP 12	7.00	2,35	2,60	33,00	
PP 13	17.21	0,40	0,40	21,21	
PP 14	10.66	0,90	0,85	19,16	
PP 15	7.29	1,50	1,50	22,29	
PP 16	15.76	-----			
PP 17	16.13	0,35	0,80	24,13	
PP 18	16.17	0,65			
PP 19	11.16	2,20	2,65	37,66	
PP 20	18.59	1,80	2,00	38,59	
PP 21	8.96	2,00	2,00	28,96	
PP 22	11.77	0,90	1,15	23,27	
PP 24	8.72	1,60	2,00	28,72	
PP 25	15.79	0,65	0,80	23,79	
PP 26	15.86	0,40	0,75	23,36	
PP 27	13.73	0,30	0,60	19,73	

1 2 3 4 5

4 = 1 + 3 x 10 (m)

BARRAGEM DE MAMUABA
FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS

DATA: 20/NOVEMBRO/90 N.A. DO RESERVATÓRIO: 34,0

PP nº	COTA DE INSTALAÇÃO	LEITURA Kg/cm ²	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANTE (Kg/cm ²)	NIVEL PIEZOMÉTRICO(m)	OBS :
PP 02	17.20	2,60	1,25	29,70	LIDO
PP 03	7.33	5,00	4,95	56,83	LIDO
PP 05	17.18	2,00	2,50	40,18	
PP 06	7.39	4,10	4,65	53,89	LIDO
PP 07	16.35		PRESSÃO ACIMA DE 9Kgf/cm ²		
PP 08	17.08	2,30	2,70	44,08	LIDO
PP 10	16.72	2,60	2,50	41,72	
PP 12	7.00		PRESSÃO ACIMA DE 9Kgf/cm ²		
PP 13	17.21	2,40	2,35	40,71	
PP 14	10.66	3,30	3,00	40,66	
PP 15	7.29	3,40	3,30	40,29	
PP 16	15.76	1,80	1,75	33,26	LIDO
PP 17	16.13	1,50	1,90	35,13	
PP 18	16.17	2,30			
PP 19	11.16	3,90	4,05	51,66	
PP 20	18.59	4,20	4,60	64,59	
PP 21	8.96	-----	-----	-----	-----
PP 22	11.77	2,20	2,35	35,27	
PP 24	8.72	3,20	3,50	43,72	
PP 25	15.79	4,20	3,90	54,79	
PP 26	15.86	2,20	2,45	40,36	
PP 27	13.73	2,60	2,65	40,23	

1

2

3

4

5

4 = 1 + 3 x 10 (m)

BARRAGEM DE MAMUABA
FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS

DATA: 20/DEZEMBRO/90 N.A. DO RESERVATÓRIO: 35,8

PP nº	COTA DE INSTALAÇÃO	LEITURA Kg/cm ²	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANTE (Kg/cm ²)	NIVEL PIEZOMÉTRICO(m)	OBS :
PP 02	17.20	2,40	1,15	28,70	
PP 03	7.33	5,40	5,35	60,83	
PP 05	17.18	1,80	2,10	38,18	
PP 06	7.39	3,80	4,35	50,89	
PP 07	16.35	-----	-----	-----	-----
PP 08	17.08	2,30	2,70	44,08	
PP 10	16.72	2,50	2,40	40,72	
PP 12	7.00	-----	-----	-----	-----
PP 13	17.21	2,20	2,20	39,21	
PP 14	10.66	3,00	2,75	38,16	
PP 15	7.29	3,20	3,10	38,29	
PP 16	15.76	1,60	1,55	31,26	
PP 17	16.13	1,40	1,80	34,13	
PP 18	16.17	2,10			
PP 19	11.16	3,60	3,80	49,16	
PP 20	18.59	4,00	4,10	59,59	
PP 21	8.96	-----	-----	-----	-----
PP 22	11.77	2,10	2,25	34,27	
PP 24	8.72	2,90	3,20	49,72	
PP 25	15.79	4,10	3,80	53,79	
PP 26	15.86	2,20	2,45	40,36	
PP 27	13.73	2,40	2,50	38,73	

1

2

3

4

5

4 = 1 + 3 x 10 (m)

BARRAGEM DE MAMUABA
FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS

DATA: 23/JANEIRO/91 N.A. DO RESERVATÓRIO: 33,5

PP nº	COTA DE INSTALAÇÃO	LEITURA Kg / Cm ²	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANTE (Kg / Cm ²)	NIVEL PIEZOMÉTRICO(m)	OBS :
PP 02	17.20	2,70	1,60	33,20	
PP 03	7.33	6,90	6,80	75,33	
PP 05	17.18	2,40	2,65	43,68	
PP 06	7.39	4,00	4,50	52,39	
PP 07	16.35	-----	-----	-----	
PP 08	17.08	2,50	2,90	46,08	
PP 10	16.72	2,50	2,40	40,72	
PP 12	7.00	-----	-----	-----	
PP 13	17.21	2,00	1,95	36,71	
PP 14	10.66	3,20	2,90	39,66	
PP 15	7.29	3,00	2,95	36,79	
PP 16	15.76	1,50	1,50	30,76	
PP 17	16.13	1,30	1,70	33,13	
PP 18	16.17	1,90			
PP 19	11.16	4,20	4,65	57,66	
PP 20	18.59	3,70	3,85	57,09	
PP 21	8.96	-----	-----	-----	
PP 22	11.77	1,50	1,25	24,27	
PP 24	8.72	2,60	2,90	37,72	
PP 25	15.79	2,30	2,30	38,79	
PP 26	15.86	1,10	1,45	30,36	
PP 27	13.73	1,30	1,50	28,73	

1 2 3 4 5

4 = 1 + 3 x 10 (m)

BARRAGEM DE MAMUABA
FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS

DATA: 20/FEVEREIRO/91 N.A. DO RESERVATÓRIO: 33,0

PP nº	COTA DE INSTALAÇÃO	LEITURA Kg/cm ²	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANTE (Kg/cm ²)	NIVEL PIEZOMÉTRICO(m)	OBS :
PP 02	17.20	2,00	1,00	27,20	
PP 03	7.33	3,20	3,25	39,83	
PP 05	17.18	1,60	1,90	36,18	
PP 06	7.39	3,00	3,60	43,39	
PP 07	16.35	-----	-----	-----	
PP 08	17.08	1,60	2,05	37,58	
PP 10	16.72	2,20	2,10	37,72	
PP 12	7.00	-----	-----	-----	
PP 13	17.21	1,60	1,60	33,21	
PP 14	10.66	2,00	1,85	29,16	
PP 15	7.29	2,70	2,65	33,79	
PP 16	15.76	1,20	1,20	27,76	
PP 17	16.13	1,00	1,40	30,13	
PP 18	16.17	1,20			
PP 19	11.16	3,50	3,75	48,66	
PP 20	18.59	3,60	3,70	55,59	
PP 21	8.96	-----	-----	-----	
PP 22	11.77	2,00	2,05	32,27	
PP 24	8.72	2,60	2,90	37,72	
PP 25	15.79	2,30	2,30	38,79	
PP 26	15.86	1,20	1,50	30,86	
PP 27	13.73	1,60	1,75	31,23	

1 2 3 4 5

4 = 1 + 3 x 10 (m)

BARRAGEM DE MAMUABA
FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS

DATA: 20/MARÇO/91 N.A. DO RESERVATÓRIO: 33,0

PP nº	COTA DE INSTALAÇÃO	LEITURA Kg/cm ²	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANTE (Kg/cm ²)	NÍVEL PIEZOMÉTRICO(m)	OBS :
PP 02	17.20	1,80	0,90	26,20	
PP 03	7.33	3,60	3,65	43,83	
PP 05	17.18	1,30	1,65	33,68	
PP 06	7.39	3,00	3,60	43,39	
PP 07	16.35	-----	-----	-----	
PP 08	17.08	1,30	1,75	34,58	
PP 10	16.72	2,10	2,00	36,72	
PP 12	7.00	-----	-----	-----	
PP 13	17.21	1,40	1,40	31,21	
PP 14	10.66	2,00	1,85	29,16	
PP 15	7.29	APRESENTOU DEFEITO, VAZAMENTO DE GÁS			
PP 16	15.76	0,80	0,90	24,76	
PP 17	16.13	0,80	1,20	28,13	
PP 18	16.17	1,20			
PP 19	11.16	3,60	3,80	49,16	
PP 20	18.59	2,30	2,50	43,59	
PP 21	8.96	-----	-----	-----	
PP 22	11.77	1,50	1,25	24,27	
PP 24	8.72	2,60	2,90	37,72	
PP 25	15.79	2,00	2,00	35,79	
PP 26	15.86	1,00	1,45	30,36	
PP 27	13.73	1,20	1,45	28,23	

1 2 3 4 5

4 = 1 + 3 x 10 (m)

BARRAGEM DE MAMUABA
FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS

DATA: 24/ABRIL/91 N.A. DO RESERVATÓRIO: 33,0

PP nº	COTA DE INSTALAÇÃO	LEITURA kg/cm ²	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANTE (kg/cm ²)	NIVEL PIEZOMÉTRICO(m)	obs :
PP 02	17.20	1,80	0,90	26,20	
PP 03	7.33	3,60	3,65	43,83	
PP 05	17.18	1,20	1,45	31,68	
PP 06	7.39	2,90	3,50	42,39	
PP 07	16.35	-----	-----	-----	
PP 08	17.08	1,40	1,80	35,08	
PP 10	16.72	2,10	2,00	36,72	
PP 12	7.00	-----	-----	-----	
PP 13	17.21	1,40	1,40	31,21	
PP 14	10.66	2,00	1,85	29,16	
PP 15	7.29	-----	-----	-----	
PP 16	15.76	0,90	0,95	25,26	
PP 17	16.13	0,80	1,20	28,13	
PP 18	16.17	1,10			
PP 19	11.16	3,60	3,80	49,16	
PP 20	18.59	2,30	2,50	43,59	
PP 21	8.96	-----	-----	-----	
PP 22	11.77	1,50	1,25	24,27	
PP 24	8.72	2,50	2,80	36,72	
PP 25	15.79	2,10	2,15	37,29	
PP 26	15.86	1,00	1,45	30,56	
PP 27	13.73	1,20	1,45	28,23	
	1	2	3	4	5

4 = 1 + 3 x 10 (m)

BARRAGEM DE MANUABA
FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS

DATA: 22/MAIO/91 N.A. DO RESERVATÓRIO: 33,7

PP nº	COTA DE INSTALAÇÃO	LEITURA Kg/cm ²	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANTE (Kg/cm ²)	NIVEL PIEZOMÉTRICO(m)	OBS :
PP 02	17.20	1,90	0,95	26,70	
PP 03	7.33	3,50	3,55	42,83	
PP 05	17.18	1,50	1,85	35,68	
PP 06	7.39	3,10	3,65	43,89	
PP 07	16.35	6,00	5,50	71,35	LIDO
PP 08	17.08	1,20	1,60	33,08	
PP 10	16.72	2,20	2,10	37,72	
PP 12	7.00	-----	-----	-----	-----
PP 13	17.21	1,30	1,30	30,21	
PP 14	10.66	1,90	1,70	27,66	
PP 15	7.29	-----	-----	-----	-----
PP 16	15.76	0,85	0,90	24,76	
PP 17	16.13	0,80	1,20	28,13	
PP 18	16.17	1,20			
PP 19	11.16	3,50	3,75	14,91	
PP 20	18.59	2,40	2,55	44,09	
PP 21	8.96	-----	-----	-----	-----
PP 22	11.77	1,50	1,80	29,77	
PP 24	8.72	2,40	2,70	35,72	
PP 25	15.79	2,00	2,00	35,79	
PP 26	15.06	0,90	1,25	28,36	
PP 27	13.73	1,20	1,45	28,23	
	1	2	3	4	5

4 = 1 + 3 x 10 (m)

BARRAGEM DE MANUABA
FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS

DATA: 20/JUNHO/91 N.A. DO RESERVATÓRIO: 34,8

PP nº	COTA DE INSTALAÇÃO	LEITURA Kg/cm ²	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANTE (Kg/cm ²)	NIVEL PIEZOMÉTRICO(m)	OBS :
PP 02	17.20	2,10	1,05	27,70	
PP 03	7.33	3,50	3,55	42,83	
PP 05	17.18	1,60	1,90	36,18	
PP 06	7.39	3,40	3,95	46,89	
PP 07	16.35	6,20	5,75	73,85	
PP 08	17.08	1,40	1,80	35,08	
PP 10	16.72	2,30	2,20	38,72	
PP 12	7.00	-----	-----	-----	
PP 13	17.21	1,0	1,40	31,21	
PP 14	10.66	2,15	1,90	29,66	
PP 15	7.29	-----	-----	-----	
PP 16	15.76	0,90	0,95	25,26	
PP 17	16.13	0,80	1,20	28,13	
PP 18	16.17	1,20			
PP 19	11.16	3,50	3,75	48,66	
PP 20	18.59	2,50	2,60	44,59	
PP 21	8.96	-----	-----	-----	
PP 22	11.77	1,70	1,90	30,77	
PP 24	8.72	2,30	2,65	35,22	
PP 25	15.79	2,15	2,20	37,79	
PP 26	15.86	1,00	1,45	30,36	
PP 27	13.73	1,25	1,50	28,73	

1 2 3 4 5

4 = 1 + 3 x 10 (m)

BARRAGEM DE MAMUABA
FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS

DATA: 24/JULHO/91 N.A. DO RESERVATÓRIO: 34,9

PP nº	COTA DE INSTALAÇÃO	LEITURA kg/cm ²	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANTE (kg/cm ²)	NIVEL PIEZOMÉTRICO(m)	OBS :
PP 02	17.20	2,10	1,05	27,70	
PP 03	7.33	3,40	3,45	41,83	
PP 05	17.18	1,60	1,90	36,18	
PP 06	7.39	3,30	3,85	45,89	
PP 07	16.35	6,0	5,50	71,35	
PP 08	17.08	1,40	1,80	35,08	
PP 10	16.72	2,30	2,20	38,72	
PP 12	7.00	-----	-----	-----	
PP 13	17.21	1,20	1,20	29,21	
PP 14	10.66	2,00	1,85	29,16	
PP 15	7.29	-----	-----	-----	
PP 16	15.76	0,90	0,95	25,26	
PP 17	16.13	0,90	1,30	29,13	
PP 18	16.17	1,30			
PP 19	11.16	3,60	3,80	49,16	
PP 20	18.59	2,60	2,75	46,09	
PP 21	8.96	-----	-----	-----	
PP 22	11.77	1,50	1,80	29,77	
PP 24	8.72	2,40	2,70	35,72	
PP 25	15.79	2,05	2,10	36,79	
PP 26	15.86	1,00	1,45	30,36	
PP 27	13.73	1,20	1,45	28,23	

1

2

3

4

5

4 = 1 + 3 x 10 (m)

BARRAGEM DE MAMUABA
FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS

DATA: 02/AGOSTO/91 N.A. DO RESERVATÓRIO: 35,0

PP nº	COTA DE INSTALAÇÃO	LEITURA Kg/Cm ²	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANTE (Kg/Cm ²)	NIVEL PIEZOMÉTRICO(m)	OBS :
PP 02	17.20	2,00	1,00	27,20	
PP 03	7.33	3,00	3,10	38,33	
PP 05	17.18	1,50	1,85	35,68	
PP 06	7.39	3,30	3,85	45,89	
PP 07	16.35	8,00	7,25	88,85	
PP 08	17.08	1,50	1,95	36,58	
PP 10	16.72	2,40	2,30	39,72	
PP 12	7.00	-----	-----	-----	
PP 13	17.21	1,50	1,60	33,21	
PP 14	10.66	2,00	1,85	29,16	
PP 15	7.29	-----	-----	-----	
PP 16	15.76	1,00	1,05	26,26	
PP 17	16.13	0,95	1,35	29,63	
PP 18	16.17	1,30			
PP 19	11.16	3,50	3,70	48,16	
PP 20	18.59	2,60	2,75	46,09	
PP 21	8.96	-----	-----	-----	
PP 22	11.77	1,35	1,60	27,77	
PP 24	8.72	2,70	3,00	38,72	
PP 25	15.79	2,20	2,20	37,79	
PP 26	15.85	1,10	1,45	30,36	
PP 27	13.73	1,50	1,50	28,73	

1 2 3 4 5

4 = 1 + 3 x 10 (m)

BARRAGEM DE MAMUABA
FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS

DATA: 07/AGOSTO/91 N.A. DO RESERVATÓRIO: 35,0 (Sangrando)

PP nº	COTA DE INSTALAÇÃO	LEITURA Kg/cm ²	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANTE (Kg/cm ²)	NIVEL PIEZOMÉTRICO(m)	OBS :
PP 02	17.20	2,50	1,20	29,20	
PP 03	7.33	4,50	4,50	52,33	
PP 05	17.18	2,00	2,25	39,68	
PP 06	7.39	3,80	4,35	50,89	
PP 07	16.35	9,40	8,45	100,35	
PP 08	17.08	1,80	2,25	39,58	
PP 10	16.72	2,60	2,50	41,72	
PP 12	7.00	-----	-----	-----	-----
PP 13	17.21	1,80	1,90	36,21	
PP 14	10.66	2,60	2,40	34,66	
PP 15	7.29	-----	-----	-----	-----
PP 16	15.76	1,30	1,30	28,76	
PP 17	16.13	1,20	1,60	32,13	
PP 18	16.17	1,65			
PP 19	11.16	3,60	3,75	48,66	
PP 20	18.59	2,60	2,75	46,09	
PP 21	8.96	-----	-----	-----	-----
PP 22	11.77	1,70	2,00	31,77	
PP 24	8.72	2,50	2,80	36,72	
PP 25	15.79	2,30	2,30	38,79	
PP 26	15.86	1,20	1,50	30,86	
PP 27	13.73	1,50	1,70	30,73	

1 2 3 4 5

4 = 1 + 3 x 10 (m)

BARRAGEM DE MAMUABA
FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS

DATA: 22/AGOSTO/91 N.A. DO RESERVATÓRIO: 35,0 (Sangrando)

PP nº	COTA DE INSTALAÇÃO	LEITURA kg/cm ²	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANTE (kg/cm ²)	NIVEL PIEZOMÉTRICO(m)	OBS :
PP 02	17.20	2,30	1,10	28,20	
PP 03	7.33	3,40	3,40	41,33	
PP 05	17.18	1,75	2,00	37,18	
PP 06	7.39	3,50	4,05	47,89	
PP 07	16.35	7,70	7,00	86,35	
PP 08	17.08	1,60	2,05	37,58	
PP 10	16.72	2,45	2,35	40,22	
PP 12	7.00	-----	-----	-----	-----
PP 13	17.21	1,60	1,70	34,21	
PP 14	10.66	2,10	1,95	30,16	
PP 15	7.29	-----	-----	-----	-----
PP 16	15.76	1,15	1,15	27,26	
PP 17	16.13	1,10	1,50	31,13	
PP 18	16.17	1,45			
PP 19	11.16	3,80	3,95	50,66	
PP 20	18.59	2,65	2,80	21,39	
PP 21	8.96	-----	-----	-----	-----
PP 22	11.77	1,70	2,00	31,77	
PP 24	8.72	2,60	2,90	37,72	
PP 25	15.79	3,00	3,00	45,79	
PP 26	15.86	1,40	1,75	33,36	
PP 27	13.73	1,80	2,00	33,75	

1

2

3

4

5

4 = 1 + 3 x 10 (m)

BARRAGEM DE MAMUABA
FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS

DATA: 03/SETEMBRO/91 N.A. DO RESERVATÓRIO: 35,0 (Sangrando)

PP nº	COTA DE INSTALAÇÃO	LEITURA Kg / Cm ²	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANTE (Kg / Cm ²)	NIVEL PIEZOMÉTRICO(m)	OBS :
PP 02	17.20	2,30	1,10	28,20	
PP 03	7.33	3,40	3,40	41,33	
PP 05	17.18	1,80	2,10	38,18	
PP 06	7.39	3,55	4,10	48,39	
PP 07	16.35	9,30	8,35	99,85	
PP 08	17.08	1,65	2,10	38,08	
PP 10	16.72	2,45	2,35	40,22	
PP 12	7.00	-----	-----	-----	-----
PP 13	17.21	1,50	1,50	32,21	
PP 14	10.66	2,10	1,95	30,16	
PP 15	7.29	-----	-----	-----	-----
PP 16	15.76	1,10	1,10	26,76	
PP 17	16.13	1,05	1,50	31,13	
PP 18	16.17	1,40			
PP 19	11.16	3,85	4,00	51,16	
PP 20	18.59	2,70	2,85	47,09	
PP 21	8.96	-----	-----	-----	-----
PP 22	11.77	1,75	2,00	31,77	
PP 24	8.72	2,80	3,10	39,72	
PP 25	15.79	2,80	2,65	42,29	
PP 26	15.86	1,50	1,75	33,36	
PP 27	13.73	1,70	1,90	32,73	

1 2 3 4 5

4 = 1 + 3 x 10 (m)

BARRAGEM DE MAMUABA
FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS PNEUMÁTICOS

DATA: 08/JANEIRO/92 N.A. DO RESERVATÓRIO: 33,0

PP nº	COTA DE INSTALAÇÃO	LEITURA Kg/cm ²	PRESSÃO INTERSTICIAL ATUANTE (kg/cm ²)	NÍVEL PIEZOMÉTRICO(m)	OBS :
PP 02	17.20	2,30	1,10	28,20	
PP 03	7.33	3,20	3,25	39,83	
PP 05	17.18	1,80	2,10	38,18	
PP 06	7.39	3,40	3,95	46,89	
PP 07	16.35	8,30	7,50	91,35	
PP 08	17.08	1,70	2,15	38,58	
PP 10	16.72	2,40	2,30	39,72	
PP 12	7.00	-----	-----	-----	-----
PP 13	17.21	1,70	1,70	34,21	
PP 14	10.66	2,30	2,15	32,16	
PP 15	7.29	-----	-----	-----	-----
PP 16	15.76	1,20	1,20	27,76	
PP 17	16.13	1,00	1,50	31,13	
PP 18	16.17	1,50			
PP 19	11.16	3,70	3,90	50,16	
PP 20	18.59	-----	-----	-----	VAZOU ÁGUA
PP 21	8.96	-----	-----	-----	VAZOU ÁGUA
PP 22	11.77	1,70	1,95	31,27	
PP 24	8.72	2,60	2,90	37,72	
PP 25	15.79	2,50	2,40	42,79	
PP 26	15.86	1,25	1,55	31,36	
PP 27	13.73	1,50	1,70	30,73	

1 2 3 4 5

4 = 1 + 3 x 10 (m)

BARRAGENS DE GRAMAME E MAMUABA

FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS CASAGRANDE

BARRAGEM DE GRAMAME

PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMÉTRICO
PC 01	40.36		
PC 02	22.71		
PC 03	36.64		
PC 04	22.78		
PC 05	36.77		
PC 06	36.86		
PC 07	36.63		
PC 08	22.93		

3 = 1 - 2 (m)

INICIOU-SE A
FAZER OS
ENSAIOS DE
DISSIPACÃO.

BARRAGEM DE MAMUABA

PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMETRICO
PC 01	36.53	10,83	25,70
PC 02	36.55	13,06	23,49
PC 03	40.48	16,88	23,60
PC 04	22.42	2,12	20,30
PC 05	40.44	16,08	24,36
PC 06	32.83	5,49	27,34
PC 07	32.81	8,84	23,97

3 = 1 - 2 (m)

DATA: 13 Março / 90

N.A. DO RESERVATORIO: 31,8

BARRAGENS DE GRAMAME E MAMUABA**FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS CASAGRANDE****BARRAGEM DE GRAMAME**

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMÉTRICO
PC 01	40.36	10,04	30,32
PC 02	22.71	1,77	20,94
PC03	36.64	13,99	22,65
PC 04	22.78	2,03	20,75
PC 05	36.77	13,54	23,23
PC 06	36.86	10,04	26,82
PC 07	36.63	11,21	25,42
PC 08	22.93	1,23	21,70

3 = 1 - 2 (m)

BARRAGEM DE MAMUABA

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMETRICO
PC 01	36.53	11,02	25,51
PC 02	36.55	13,12	23,43
PC 03	40.48	16,91	23,57
PC 04	22.42	2,08	20,34
PC 05	40.44	16,10	24,34
PC 06	32.83	5,57	27,26
PC 07	32.81	8,87	23,94

3 = 1 - 2 (m)

DATA: 21 Março / 90N.A. DO RESERVATORIO: 31,8

BARRAGENS DE GRAMAME E MAMUABA

FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS CASAGRANDE

BARRAGEM DE GRAMAME

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMÉTRICO
PC 01	40.36	10,00	30,36
PC 02	22.71	1,75	20,96
PC 03	36.64	13,95	22,69
PC 04	22.78	2,00	20,78
PC 05	36.77	13,54	23,23
PC 06	36.86	10,02	26,84
PC 07	36.63	11,20	25,43
PC 08	22.93	1,21	21,72

$3 = 1 - 2 \text{ (m)}$

BARRAGEM DE MAMUABA

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMETRICO
PC 01	36.53	10,83	25,70
PC 02	36.55	13,06	23,49
PC 03	40.48	16,88	23,60
PC 04	22.42	2,12	20,30
PC 05	40.44	16,08	24,36
PC 06	32.83	5,49	27,34
PC 07	32.81	8,84	23,97

$3 = 1 - 2 \text{ (m)}$

DATA: 31 Março / 90 N.A. DO RESERVATORIO: 31,8

BARRAGENS DE GRAMAME E MAMUABA

FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS CASAGRANDE

BARRAGEM DE GRAMAME

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMÉTRICO
PC 01	40.36	9,84	30,52
PC 02	22.71	0,81	21,90
PC 03	36.64	13,98	22,66
PC 04	22.78	2,02	20,76
PC 05	36.77	13,57	23,20
PC 06	36.86	10,07	26,79
PC 07	36.63	11,23	25,40
PC 08	22.93	1,26	21,67

$3 = 1 - 2 \text{ (m)}$

BARRAGEM DE MAMUABA

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMETRICO
PC 01	36.53	10,95	25,58
PC 02	36.55	13,16	23,39
PC 03	40.48	16,94	23,54
PC 04	22.42	2,10	20,32
PC 05	40.44	16,16	24,28
PC 06	32.83	5,54	27,29
PC 07	32.81	8,87	23,94

$3 = 1 - 2 \text{ (m)}$

DATA: 4 Abril / 90 N.A. DO RESERVATORIO: 31,8

BARRAGENS DE GRAMAME E MAMUABA

FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS CASAGRANDE

BARRAGEM DE GRAMAME

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMÉTRICO
PC 01	40.36	8,15	32,21
PC 02	22.71	0,61	22,10
PC 03	36.64	13,92	22,72
PC 04	22.78	1,77	21,01
PC 05	36.77	13,59	23,18
PC 06	36.86	10,07	26,79
PC 07	36.63	11,15	25,48
PC 08	22.93	1,08	21,85

$3 = 1 - 2 (m)$

BARRAGEM DE MAMUABA

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMETRICO
PC 01	36.53	11,10	25,43
PC 02	36.55	13,25	23,30
PC 03	40.48	16,94	23,54
PC 04	22.42	2,10	20,32
PC 05	40.44	16,16	24,28
PC 06	32.83	5,50	27,33
PC 07	32.81	8,94	23,87

$3 = 1 - 2 (m)$

DATA: 25 Abril / 90 N.A. DO RESERVATORIO: 31,8

BARRAGENS DE GRAMAME E MAMUABA

FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS CASAGRANDE

BARRAGEM DE GRAMAME

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMÉTRICO
PC 01	40.36	9,16	31,20
PC 02	22.71	0,61	22,10
PC 03	36.64	13,84	22,80
PC 04	22.78	1,64	21,14
PC 05	36.77	13,41	23,36
PC 06	36.86	9,83	27,03
PC 07	36.63	11,03	25,60
PC 08	22.93	1,03	21,90

3 = 1 - 2 (m)

BARRAGEM DE MAMUABA

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMÉTRICO
PC 01	36.53	11,51	25,02
PC 02	36.55	13,08	23,47
PC 03	40.48	16,83	23,65
PC 04	22.42	2,06	20,36
PC 05	40.44	16,00	24,44
PC 06	32.83	5,45	27,38
PC 07	32.81	8,90	23,91

3 = 1 - 2 (m)

DATA: 10 Maio / 90

N.A. DO RESERVATORIO: 32,4 (A Barragem

subiu aproximadamente 0,60 m
de coluna d'agua do Nivel
anterior.

BARRAGENS DE GRAMAME E MAMUABA

FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS CASAGRANDE

BARRAGEM DE GRAMAME

PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMÉTRICO
PC 01	40.36	9,68	30,68
PC 02	22.71	0,52	22,19
PC 03	36.64	13,67	22,97
PC 04	22.78	1,59	21,19
PC 05	36.77	13,34	23,43
PC 06	36.86	9,53	27,33
PC 07	36.63	10,90	25,73
PC 08	22.93	0,85	22,08

$3 = 1 - 2 \text{ (m)}$

BARRAGEM DE MAMUABA

PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMÉTRICO
PC 01	36.53	11,81	24,72
PC 02	36.55	12,98	23,57
PC 03	40.48	16,54	23,94
PC 04	22.42	1,95	20,47
PC 05	40.44	15,75	24,69
PC 06	32.83	5,14	27,69
PC 07	32.81	8,76	24,05

$3 = 1 - 2 \text{ (m)}$

DATA: 30 Maio / 90

N.A. DO RESERVATORIO: 33.0

BARRAGENS DE GRAMAME E MAMUABA

FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS CASAGRANDE

BARRAGEM DE GRAMAME

PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMÉTRICO
PC 01	40.36	10,00	30,36
PC 02	22.71	0,52	22,19
PC 03	36.64	13,51	23,13
PC 04	22.78	1,25	21,53
PC 05	36.77	12,70	24,07
PC 06	36.86	9,57	27,29
PC 07	36.63	10,45	26,18
PC 08	22.93	0,80	22,13

3 = 1 - 2 (m)

BARRAGEM DE MAMUABA

PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMÉTRICO
PC 01	36.53	11,22	25,31
PC 02	36.55	12,13	24,42
PC 03	40.48	16,09	24,39
PC 04	22.42	1,83	20,59
PC 05	40.44	15,19	25,25
PC 06	32.83	5,02	27,81
PC 07	32.81	8,65	24,16

3 = 1 - 2 (m)

DATA: 20 Junho / 90 N.A. DO RESERVATORIO: 34,0

BARRAGENS DE GRAMAME E MAMUABA

FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS CASAGRANDE

BARRAGEM DE GRAMAME

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMÉTRICO
PC 01	40.36	10,06	30,30
PC 02	22.71	0,52	22,19
PC 03	36.64	13,50	23,14
PC 04	22.78	1,50	21,28
PC 05	36.77	12,50	24,27
PC 06	36.86	8,56	28,30
PC 07	36.63	10,50	26,13
PC 08	22.93	0,85	22,08

$3 = 1 - 2 \text{ (m)}$

BARRAGEM DE MAMUABA

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMETRICO
PC 01	36.53	10,90	25,63
PC 02	36.55	11,88	24,67
PC 03	40.48	16,02	24,46
PC 04	22.42	1,81	20,61
PC 05	40.44	15,15	25,29
PC 06	32.83	4,96	27,87
PC 07	32.81	8,63	24,18

$3 = 1 - 2 \text{ (m)}$

DATA: 27 Junho / 90

N.A. DO RESERVATORIO: 34,30

BARRAGENS DE GRAMAME E MAMUABA

FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS CASAGRANDE

BARRAGEM DE GRAMAME

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMÉTRICO
PC 01	40.36	10,12	30,24
PC 02	22.71	0,52	22,19
PC 03	36.64	13,46	23,18
PC 04	22.78	1,45	21,33
PC 05	36.77	12,36	24,41
PC 06	36.86	8,42	28,44
PC 07	36.63	10,46	26,17
PC 08	22.93	0,84	22,09

$3 = 1 - 2 \text{ (m)}$

BARRAGEM DE MAMUABA

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMETRICO
PC 01	36.53	10,13	26,40
PC 02	36.55	11,16	25,39
PC 03	40.48	15,98	24,50
PC 04	22.42	1,80	20,62
PC 05	40.44	15,09	25,35
PC 06	32.83	4,90	27,93
PC 07	32.81	8,59	24,22

$3 = 1 - 2 \text{ (m)}$

DATA: 5 Julho / 90

N.A. DO RESERVATORIO: 34,50

BARRAGENS DE GRAMAME E MAMUABA**FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS CASAGRANDE****BARRAGEM DE GRAMAME**

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMÉTRICO
PC 01	40.36	10,24	30,12
PC 02	22.71	0,49	22,22
PC 03	36.64	13,24	23,40
PC 04	22.78	1,12	21,66
PC 05	36.77	11,90	24,87
PC 06	36.86	7,91	28,95
PC 07	36.63	10,24	26,39
PC 08	22.93	0,71	22,22

$$3 = 1 - 2 \text{ (m)}$$

BARRAGEM DE MAMUABA

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMETRICO
PC 01	36.53	9,89	26,64
PC 02	36.55	11,11	25,44
PC 03	40.48	15,69	24,79
PC 04	22.42	1,67	20,75
PC 05	40.44	14,25	26,19
PC 06	32.83	4,65	28,18
PC 07	32.81	8,27	24,54

$$3 = 1 - 2 \text{ (m)}$$

DATA: 25 Julho / 90 N.A. DO RESERVATORIO: 35,0

obs: Começou a sangrar no dia 29/ Julho, no domingo desta semana.

BARRAGENS DE GRAMAME E MAMUABA

FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS CASAGRANDE

BARRAGEM DE GRAMAME

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMÉTRICO
PC 01	40.36	10,22	30,14
PC 02	22.71	0,48	22,23
PC 03	36.64	13,21	23,43
PC 04	22.78	1,04	21,74
PC 05	36.77	11,67	25,10
PC 06	36.86	7,80	29,06
PC 07	36.63	10,07	26,56
PC 08	22.93	0,67	22,26

3 = 1 - 2 (m)

BARRAGEM DE MAMUABA

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMETRICO
PC 01	36.53	9,56	26,97
PC 02	36.55	10,80	25,75
PC 03	40.48	15,10	25,38
PC 04	22.42	1,65	20,77
PC 05	40.44	14,65	25,79
PC 06	32.83	4,05	28,78
PC 07	32.81	8,21	24,60

3 = 1 - 2 (m)

DATA: 02 Agosto / 90 N.A. DO RESERVATORIO: 35,1

OBS: Dia 29 / julho, 1º dia do sangramento.

BARRAGENS DE GRAMAME E MAMUABA

FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS CASAGRANDE

BARRAGEM DE GRAMAME

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMÉTRICO
PC 01	40.36	10,21	30,15
PC 02	22.71	0,46	22,25
PC03	36.64	13,20	23,44
PC 04	22.78	1,02	21,76
PC 05	36.77	11,50	25,27
PC 06	36.86	7,79	29,07
PC 07	36.63	10,02	26,61
PC 08	22.93	0,64	22,29

3 = 1 - 2 (m)

BARRAGEM DE MAMUABA

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMETRICO
PC 01	36.53	9,36	27,17
PC 02	36.55	10,56	25,99
PC 03	40.48	15,60	24,88
PC 04	22.42	1,62	20,80
PC 05	40.44	14,65	25,79
PC 06	32.83	4,10	28,73
PC 07	32.81	8,15	24,66

3 = 1 - 2 (m)

DATA: 08 Agosto / 90 N.A. DO RESERVATORIO: 35,2 (Sangrando)

BARRAGENS DE GRAMAME E MAMUABA

FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS CASAGRANDE

BARRAGEM DE GRAMAME

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMÉTRICO
PC 01	40.36	10,19	30,17
PC 02	22.71	0,45	22,26
PC 03	36.64	13,14	23,50
PC 04	22.78	0,78	22,00
PC 05	36.77	11,25	25,52
PC 06	36.86	7,23	29,63
PC 07	36.63	10,00	26,64
PC 08	22.93	0,57	22,36

$3 = 1 - 2 \text{ (m)}$

BARRAGEM DE MAMUABA

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMETRICO
PC 01	36.53	9,17	27,36
PC 02	36.55	10,34	26,21
PC 03	40.48	15,53	24,95
PC 04	22.42	1,57	20,85
PC 05	40.44	14,57	25,87
PC 06	32.83	4,34	28,49
PC 07	32.81	8,00	24,81

$3 = 1 - 2 \text{ (m)}$

DATA: 15 Agosto / 90

N.A. DO RESERVATORIO: 35,3

BARRAGENS DE GRAMAME E MAMUABA

FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS CASAGRANDE

BARRAGEM DE GRAMAME

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMÉTRICO
PC 01	40.36	10,17	30,19
PC 02	22.71	0,47	22,24
PC 03	36.64	13,23	23,41
PC 04	22.78	1,11	21,67
PC 05	36.77	11,14	25,63
PC 06	36.86	7,72	29,14
PC 07	36.63	10,00	26,63
PC 08	22.93	0,71	22,22

$3 = 1 - 2 \text{ (m)}$

BARRAGEM DE MAMUABA

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMÉTRICO
PC 01	36.53	8,99	27,54
PC 02	36.55	10,15	26,40
PC 03	40.48	15,53	24,95
PC 04	22.42	1,78	20,64
PC 05	40.44	14,58	25,86
PC 06	32.83	4,33	28,50
PC 07	32.81	7,94	24,87

$3 = 1 - 2 \text{ (m)}$

DATA: 22 Agosto / 90 N.A. DO RESERVATORIO: 35,1 (Sangrando)

BARRAGENS DE GRAMAME E MAMUABA

FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS CASAGRANDE

BARRAGEM DE GRAMAME

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMÉTRICO
PC 01	40.36	10,17	30,19
PC 02	22.71	0,47	22,24
PC 03	36.64	13,26	23,38
PC 04	22.78	1,23	21,55
PC 05	36.77	11,07	25,70
PC 06	36.86	7,78	29,08
PC 07	36.63	10,07	25,56
PC 08	22.93	0,72	22,21

$3 = 1 - 2 \text{ (m)}$

BARRAGEM DE MAMUABA

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMETRICO
PC 01	36.53	8,92	27,61
PC 02	36.55	10,04	26,51
PC 03	40.48	15,53	24,95
PC 04	22.42	1,58	20,84
PC 05	40.44	14,58	25,86
PC 06	32.83	4,30	28,53
PC 07	32.81	7,85	24,96

$3 = 1 - 2 \text{ (m)}$

DATA: 29 Agosto / 90 N.A. DO RESERVATORIO: 35,0 (Parou de sangrar nesta semana.)

BARRAGENS DE GRAMAME E MAMUABA

FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS CASAGRANDE

BARRAGEM DE GRAMAME

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMÉTRICO
PC 01	40.36	10,21	30,15
PC 02	22.71	0,53	22,18
PC 03	36.64	13,42	23,22
PC 04	22.78	1,55	21,23
PC 05	36.77	11,26	25,51
PC 06	36.86	8,00	28,86
PC 07	36.63	10,33	26,30
PC 08	22.93	0,83	22,10

$3 = 1 - 2 \text{ (m)}$

BARRAGEM DE MAMUABA

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMETRICO
PC 01	36.53	8,96	27,57
PC 02	36.55	10,15	26,40
PC 03	40.48	15,66	24,82
PC 04	22.42	1,62	20,80
PC 05	40.44	14,70	25,74
PC 06	32.83	4,33	28,50
PC 07	32.81	7,94	24,87

$3 = 1 - 2 \text{ (m)}$

DATA: 26 Setembro / 90

N.A. DO RESERVATORIO: 34,9 (2 listas

abaixo de 35)

BARRAGENS DE GRAMAME E MAMUABA

FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS CASAGRANDE

BARRAGEM DE GRAMAME

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMÉTRICO
PC 01	40.36	10,36	30,00
PC 02	22.71	0,55	22,16
PC 03	36.64	13,49	23,15
PC 04	22.78	1,59	21,19
PC 05	36.77	11,39	25,38
PC 06	36.86	8,10	28,76
PC 07	36.63	10,45	26,18
PC 08	22.93	0,91	22,02

3 = 1 - 2 (m)

BARRAGEM DE MAMUABA

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMETRICO
PC 01	36.53	9,17	27,36
PC 02	36.55	10,39	26,16
PC 03	40.48	15,68	24,80
PC 04	22.42	1,59	20,83
PC 05	40.44	14,74	25,70
PC 06	32.83	4,40	28,43
PC 07	32.81	8,80	24,01

3 = 1 - 2 (m)

DATA: 31 Outubro / 90

N.A. DO RESERVATORIO: 34,8

BARRAGENS DE GRAMAME E MAMUABA

FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS CASAGRANDE

BARRAGEM DE GRAMAME

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMÉTRICO
PC 01	40.36	10,50	29,86
PC 02	22.71	0,57	22,14
PC 03	36.64	13,58	23,06
PC 04	22.78	1,70	21,08
PC 05	36.77	11,56	25,21
PC 06	36.86	8,25	28,61
PC 07	36.63	10,63	26,00
PC 08	22.93	0,97	21,96

$3 = 1 - 2 \text{ (m)}$

BARRAGEM DE MAMUABA

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMETRICO
PC 01	36.53	9,47	27,06
PC 02	36.55	10,64	25,91
PC 03	40.48	15,80	24,68
PC 04	22.42	1,66	20,76
PC 05	40.44	14,89	25,55
PC 06	32.83	4,65	28,18
PC 07	32.81	8,88	23,93

$3 = 1 - 2 \text{ (m)}$

DATA: 21 Novembro / 90

N.A. DO RESERVATORIO: 34,5

BARRAGENS DE GRAMAME E MAMUABA

FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS CASAGRANDE

BARRAGEM DE GRAMAME

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMÉTRICO
PC 01	40.36	10,60	29,76
PC 02	22.71	0,60	22,11
PC03	36.64	13,72	22,92
PC 04	22.78	1,88	20,90
PC 05	36.77	11,70	25,07
PC 06	36.86	8,38	28,48
PC 07	36.63	10,75	25,88
PC 08	22.93	1,03	21,90

$3 = 1 - 2 \text{ (m)}$

BARRAGEM DE MAMUABA

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMETRICO
PC 01	36.53	9,69	26,84
PC 02	36.55	10,87	25,68
PC 03	40.48	15,93	24,55
PC 04	22.42	1,70	20,72
PC 05	40.44	15,04	25,40
PC 06	32.83	4,83	28,00
PC 07	32.81	8,98	23,83

$3 = 1 - 2 \text{ (m)}$

DATA: 07 Dezembro / 90

N.A. DO RESERVATORIO: 34,0

BARRAGENS DE GRAMAME E MAMUABA

FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS CASAGRANDE

BARRAGEM DE GRAMAME

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMÉTRICO
PC 01	40.36	10,84	29,52
PC 02	22.71	0,80	21,91
PC 03	36.64	13,80	22,84
PC 04	22.78	1,94	20,84
PC 05	36.77	12,00	24,77
PC 06	36.86	8,62	28,24
PC 07	36.63	10,90	25,73
PC 08	22.93	1,20	21,73

$3 = 1 - 2 \text{ (m)}$

BARRAGEM DE MAMUABA

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMETRICO
PC 01	36.53	10,19	26,34
PC 02	36.55	11,34	25,21
PC 03	40.48	16,03	24,45
PC 04	22.42	1,74	20,68
PC 05	40.44	15,24	25,20
PC 06	32.83	4,46	28,37
PC 07	32.81	9,49	23,32

$3 = 1 - 2 \text{ (m)}$

DATA: 23 Janeiro / 91 N.A. DO RESERVATORIO: 33,6

BARRAGENS DE GRAMAME E MAMUABA

FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS CASAGRANDE

BARRAGEM DE GRAMAME

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMÉTRICO
PC 01	40.36	11.03	29,33
PC 02	22.71	0,82	21,89
PC 03	36.64	14,03	22,61
PC 04	22.78	1,94	20,84
PC 05	36.77	12,03	24,74
PC 06	36.86	8,89	27,97
PC 07	36.63	11,07	25,56
PC 08	22.93	1,27	21,66

$3 = 1 - 2 \text{ (m)}$

BARRAGEM DE MAMUABA

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMETRICO
PC 01	36.53	10,96	25,57
PC 02	36.55	12,00	24,55
PC 03	40.48	16,15	24,33
PC 04	22.42	1,80	20,62
PC 05	40.44	15,47	24,97
PC 06	32.83	5,31	27,52
PC 07	32.81	11,47	21,34

$3 = 1 - 2 \text{ (m)}$

DATA: 20 Fevereiro / 91 N.A. DO RESERVATORIO: 33,2

BARRAGENS DE GRAMAME E MAMUABA

FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS CASAGRANDE

BARRAGEM DE GRAMAME

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMÉTRICO
PC 01	40.36	11,28	29.08
PC 02	22.71	0,82	21,89
PC 03	36.64	13,93	22,71
PC 04	22.78	1,96	20,82
PC 05	36.77	12,62	24,15
PC 06	36.86	8,90	27,96
PC 07	36.63	11,08	25,55
PC 08	22.93	1,27	21,66

$3 = 1 - 2 \text{ (m)}$

BARRAGEM DE MAMUABA

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMETRICO
PC 01	36.53	11,12	25,41
PC 02	36.55	12,12	24,43
PC 03	40.48	16,17	24,31
PC 04	22.42	1,80	20,62
PC 05	40.44	15,50	24,94
PC 06	32.83	5,19	27,64
PC 07	32.81	11,25	21,56

$3 = 1 - 2 \text{ (m)}$

DATA: 20 Março / 91 N.A. DO RESERVATORIO: 33,0

BARRAGENS DE GRAMAME E MAMUABA

FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS CASAGRANDE

BARRAGEM DE GRAMAME

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMÉTRICO
PC 01	40.36	11,45	28,91
PC 02	22.71	0,77	21,94
PC 03	36.64	13,91	22,73
PC 04	22.78	1,84	20,94
PC 05	36.77	12,60	24,17
PC 06	36.86	8,93	27,93
PC 07	36.63	11,10	25,53
PC 08	22.93	1,23	21,70

$3 = 1 - 2 \text{ (m)}$

BARRAGEM DE MAMUABA

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMETRICO
PC 01	36.53	11,41	25,12
PC 02	36.55	12,30	24,25
PC 03	40.48	16,19	24,29
PC 04	22.42	1,78	20,64
PC 05	40.44	15,54	24,90
PC 06	32.83	5,30	27,53
PC 07	32.81	11,23	21,58

$3 = 1 - 2 \text{ (m)}$

DATA: 24 Abril / 91

N.A. DO RESERVATORIO: 32,9

BARRAGENS DE GRAMAME E MAMUABA

FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS CASAGRANDE

BARRAGEM DE GRAMAME

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMÉTRICO
PC 01	40.36	11,50	28,86
PC 02	22.71	0,62	22,09
PC 03	36.64	13,77	22,87
PC 04	22.78	1,48	21,30
PC 05	36.77	12,19	24,58
PC 06	36.86	8,88	27,98
PC 07	36.63	10,90	25,73
PC 08	22.93	1,09	21,84

$3 = 1 - 2 \text{ (m)}$

BARRAGEM DE MAMUABA

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMETRICO
PC 01	36.53	11,09	25,44
PC 02	36.55	11,95	24,60
PC 03	40.48	15,88	24,60
PC 04	22.42	1,68	20,74
PC 05	40.44	15,24	25,20
PC 06	32.83	5,03	27,80
PC 07	32.81	11,05	21,76

$3 = 1 - 2 \text{ (m)}$

DATA: 22 Maio / 91

N.A. DO RESERVATORIO: 33,8

BARRAGENS DE GRAMAME E MAMUABA

FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS CASAGRANDE

BARRAGEM DE GRAMAME

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMÉTRICO
PC 01	40.36	11,43	28,93
PC 02	22.71	0,58	22,13
PC 03	36.64	13,67	22,97
PC 04	22.78	1,65	21,13
PC 05	36.77	11,71	25,06
PC 06	36.86	8,11	28,75
PC 07	36.63	10,73	25,90
PC 08	22.93	1,06	21,87

$$3 = 1 - 2 \text{ (m)}$$

BARRAGEM DE MAMUABA

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMETRICO
PC 01	36.53	10,43	26,10
PC 02	36.55	11,38	25,17
PC 03	40.48	15,67	24,81
PC 04	22.42	1,60	20,82
PC 05	40.44	15,02	25,42
PC 06	32.83	4,90	27,93
PC 07	32.81	11,00	21,81

$$3 = 1 - 2 \text{ (m)}$$

DATA: 20 Junho / 91

N.A. DO RESERVATORIO: 34,5

BARRAGENS DE GRAMAME E MAMUABA

FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS CASAGRANDE

BARRAGEM DE GRAMAME

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMÉTRICO
PC 01	40.36	11,40	28,96
PC 02	22.71	0,56	22,15
PC 03	36.64	13,65	22,99
PC 04	22.78	1,63	21,15
PC 05	36.77	11,68	25,09
PC 06	36.86	8,00	28,86
PC 07	36.63	10,70	25,93
PC 08	22.93	1,04	21,89

3 = 1 - 2 (m)

BARRAGEM DE MAMUABA

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMETRICO
PC 01	36.53	9,86	26,67
PC 02	36.55	10,90	25,65
PC 03	40.48	15,46	25,02
PC 04	22.42	1,57	20,85
PC 05	40.44	14,80	25,64
PC 06	32.83	4,82	28,01
PC 07	32.81	10,89	21,92

3 = 1 - 2 (m)

DATA: 25/ 07 /91 N.A. DO RESERVATORIO: 34,9

BARRAGENS DE GRAMAME E MAMUABA

FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS CASAGRANDE

BARRAGEM DE GRAMAME

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMÉTRICO
PC 01	40.36	11,00	29,36
PC 02	22.71	0,53	22,18
PC 03	36.64	13,60	23,04
PC 04	22.78	1,60	21,18
PC 05	36.77	11,63	25,14
PC 06	36.86	7,92	28,94
PC 07	36.63	10,50	26,13
PC 08	22.93	1,00	21,92

$3 = 1 - 2 \text{ (m)}$

BARRAGEM DE MAMUABA

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMETRICO
PC 01	36.53	9,78	26,75
PC 02	36.55	10,84	25,71
PC 03	40.48	15,42	25,06
PC 04	22.42	1,55	20,87
PC 05	40.44	14,74	25,70
PC 06	32.83	4,75	28,08
PC 07	32.81	10,89	21,92!

$3 = 1 - 2 \text{ (m)}$

DATA: 02 / 08 / 91

N.A. DO RESERVATORIO: 35,0 (SANCRANDO)

BARRAGENS DE GRAMAME E MAMUABA

FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS CASAGRANDE

BARRAGEM DE GRAMAME

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMÉTRICO
PC 01	40.36	10,17	30,19
PC 02	22.71	0,47	22,24
PC 03	36.64	13,23	23,41
PC 04	22.78	1,10	21,68
PC 05	36.77	11,14	25,63
PC 06	36.86	7,70	29,16
PC 07	36.63	10,00	26,63
PC 08	22.93	0,70	22,23

$3 = 1 - 2 \text{ (m)}$

BARRAGEM DE MAMUABA

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMETRICO
PC 01	36.53	8,99	27,54
PC 02	36.55	10,15	26,40
PC 03	40.48	15,42	25,06
PC 04	22.42	1,55	20,87
PC 05	40.44	14,58	25,86
PC 06	32.83	4,30	28,53
PC 07	32.81	7,94	24,87

$3 = 1 - 2 \text{ (m)}$

DATA: 22 / 08 / 91

N.A. DO RESERVATORIO: 35,0 (SANGRANDO)

BARRAGENS DE GRAMAME E MAMUABA

FOLHA DE LEITURA DE PIEZÔMETROS CASAGRANDE

BARRAGEM DE GRAMAME

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMÉTRICO
PC 01	40,36	10,00	30,36
PC 02	22,71	0,40	22,31
PC 03	36,64	13,12	23,52
PC 04	22,78	0,98	21,80
PC 05	36,77	11,60	25,17
PC 06	36,86	7,60	29,26
PC 07	36,63	10,00	26,63
PC 08	22,93	0,57	22,36

3 = 1 - 2 (m)

BARRAGEM DE MAMUABA

	1	2	3
PC nº	COTA DO TOPO DO TUBO DE LEITURA	LEITURA	NIVEL PIEZOMÉTRICO
PC 01	36,53	9,41	27,12
PC 02	36,55	10,50	26,05
PC 03	40,48	15,40	25,08
PC 04	22,42	1,51	20,91
PC 05	40,44	14,72	25,72
PC 06	32,83	4,67	28,16
PC 07	32,81	8,20	24,61

3 = 1 - 2 (m)