

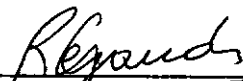
ESTUDOS EM MEIO POROSO HETEROGENEO

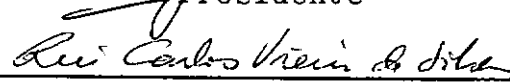
SUJEITO A BOMBEAMENTOS PERIÓDICOS

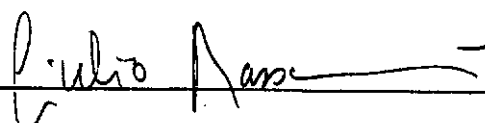
LUCIVAL AMÉLIO DE BARROS FERREIRA

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRÁU DE MESTRE EM CIÊNCIA (M.Sc.)

Aprovada por:



presidente




RIO DE JANEIRO
ESTADO DA GUANABARA - BRASIL
SETEMBRO DE 1969

Ao Pai

A G R A D E C I M E N T O S

Ao Prof. Gaudu pela sua orientação.

Ao Prof. Massarani pela ajuda no fabrico e ensaios do meio poroso artificial.

Aos Srs. Jorge, Olympio e Oleg pelo auxilio técnico prestado.

A COPPE e à CAPES pela ajuda financeira prestada.

A Zélia e Lucy pela impressão deste trabalho.

ABSTRACT

The purpose of this work is the behavioral study of a heterogeneous porous media, when it suffers an unsteady - periodic pumping.

For this, we built a special equipment and moulded an artificial porous media to which was applied a steady contour condition upstream and the unsteady pumping was made downstream.

The level variation, determined by the pulsation, - being choosen as dependent variable, it was noticed that it proceeded like a linear function of the discharge and the - period.

From this function, we can make a distinction, for - the case, whether the most permeable media is directly - subjected to the pumping or not.

I N D I C E

| | |
|------------------------|-----|
| Agradecimentos | i |
| Índice | ii |
| Lista de Figuras | iv |
| Lista de Tabelas | vii |
| Sumário | 1 |
| Abstract | 2 |

Capítulos

| | |
|---|----|
| I. <u>INTRODUÇÃO</u> | 3 |
| 1.1 - Objetivo | 4 |
| 1.2 - Limites | 4 |
| II - <u>REVISÃO DA LITERATURA</u> | 6 |
| 2.1 - <u>Resolução Teórica</u> | 6 |
| 2.1.1 - Regime permanente | 6 |
| 2.1.2 - Regime não permanente | 12 |
| 2.1.3 - Meios heterogêneos | 14 |
| 2.1.4 - Conclusão da teoria | 16 |
| 2.2 - <u>Resolução analógica</u> | 16 |
| 2.2.1 - Papel Teledeltos | 16 |
| 2.2.2 - Rede de resistências | 17 |
| 2.2.3 - Método das placas paralelas | 18 |
| 2.3 - Modelo reais | 18 |
| III - <u>Material e Métodos</u> | 19 |
| 3.1 - Cuba de infiltração | 19 |
| 3.2 - Torre de controle de nível | 22 |
| 3.3 - Sistema elétrico | 26 |

| | | |
|---------------------------------|--|-----|
| 3.4 | -Sistema hidráulico | 31 |
| 3.5 | -Accessórios | 37 |
| 3.6 | -Preparo do modelo | 37 |
| 3.7 | -Método empregado | 40 |
| 3.8 | -Limitação do equipamento | 41 |
| 3.9 | -Fluido utilizado | 43 |
| IV - <u>RESULTADOS</u> | | |
| 4.1 | -Apresentação tabular dos resultados | 44 |
| 4.2 | -Apresentação gráfica dos resultados | 44 |
| V - <u>DISCUSSAO</u> | | |
| 5.1 | - Observações no meio poroso | 83 |
| 5.2 | - Observações nos resultados | 83 |
| 5.3 | - Deduções e comentários | 85 |
| VI - <u>CONCLUSAO</u> | | |
| VII- <u>SUGESTOES</u> | | |
| BIBLIOGRAFIA | | 93 |
| <u>APÊNDICES</u> | | |
| Apêndice A | - Determinação da permeabilidade | 94 |
| Apêndice B | - Ensaio de porosidade | 97 |
| Apêndice C | - Ensaio de bombeamento | 99 |
| Apêndice D | - Programas de computador | 101 |
| Apêndice E | - Dados técnicos e fotografias da aparelha- gem | 109 |
| Apêndice F | - Fotografias e gráficos complementares ... | 110 |
| <u>NOMENCLATURA</u> ::::: | | 124 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|-----------|--|----|
| Figura 1 | - Meios heterogêneos | 3 |
| Figura 2 | - Meio poroso retângular | 8 |
| Figura 3 | - Condições de contorno a montante | 10 |
| Figura 4 | - Condições de contorno a jusante | 10 |
| Figura 5 | - Refração na linha de separação dos meios | 14 |
| Figura 6 | - Meios em paralelos | 15 |
| Figura 7 | - Meios em série | 15 |
| Figura 8 | - Aparelhagem - vista geral | 20 |
| Figura 9 | - Cuba de infiltração - projeto | 21 |
| Figura 10 | - Suporte da cuba - projeto | 23 |
| Figura 11 | - Cuba de infiltração e seu suporte - foto | 25 |
| Figura 12 | - Reservatório elevado e seu suporte - foto | 25 |
| Figura 13 | - Reservatório elevado e seu suporte-projeto | 24 |
| Figura 14 | - Sistema elétrico - circuito geral | 27 |
| Figura 15 | - Ponte de diodos | 28 |
| Figura 16 | - Curva de calibração da ponta | 32 |
| Figura 17 | -- Sistema hidráulico | 33 |
| Figura 18 | - Régua de medição- projeto | 36 |
| Figura 19 | - Registrador | 38 |
| Figura 20 | - Régua de medição (foto) | 38 |
| Figura 21 | - Moldagem dos meios | 39 |
| Figura 22 | - Convergência para um bombeamento periódico | 42 |
| Figura 23 | - Gráfico período- vazão | 42 |
| Figura 24 | - Curvas $H \times T$ para $K_1 < K_2$ | 61 |
| Figura 25 | - Curvas $H \times T$ para $K_1 > K_2$ | 77 |
| Figura 26 | - Gráfico $\Delta H \times Q$ para $K_1 < K_2$ | 78 |
| Figura 27 | - Gráfico $\Delta H \times Q$ para $K_1 > K_2$ | 79 |
| Figura 28 | - Bombeamento permanente | 82 |
| Figura 29 | - Nivel máximo de um bombeamento periódico | 84 |
| Figura 30 | - Nivel mínimo de um bombeamento periódico | 84 |

| | | |
|-----------|---|-----|
| Figura 31 | - Gráfico dos coeficientes angulares da reta | 86 |
| Figura 32 | - Gráfico provável para T muito grande | 91 |
| Figura 33 | - Camadas heterogêneas | 92 |
| Figura 34 | - Permeâmetro a ar | 111 |
| Figura 35 | - Porosímetro | 111 |
| Figura 36 | - Determinação da permeabilidade | 96 |
| Figura 37 | - Calibração da bomba B | 100 |
| Figura 38 | - Material utilizado para a fabricação dos meios | 112 |
| Figura 39 | - Parafusos calantes e ligações hidráulicas no reservatório | 112 |
| Figura 40 | - Vertedor | 113 |
| Figura 41 | - Pêso de equilíbrio | 113 |
| Figura 42 | - Bomba A | 114 |
| Figura 43 | - Bomba B | 114 |
| Figura 44 | - Transformador e voltímetro auxiliares da bomba B | 115 |
| Figura 45 | - Sifão | 115 |
| Figura 46 | - Detalhe da ponta na água | 116 |
| Figura 47 | - Superfície de sugência | 116 |
| Figura 48 | - Mesa de comando | 117 |
| Figura 49 | - Permeâmetro - detalhe | 117 |
| Figura 50 | - Material usado no ensaio de porosidade | 118 |
| Figura 51 | - Escoamento para $K_1 > K_2$ | 118 |
| Figura 52 | - Escoamento para $K_1 < K_2$ | 119 |
| Figura 53 | - Escoamento para $K_1 < K_2$ | 119 |
| Figura 54 | - Escoamento para $K_1 < K_2$ | 120 |
| Figura 55 | - Escoamento para $K_1 < K_2$ | 120 |
| Figura 56 | - Escoamento para $K_1 < K_2$ | 120 |
| Figura 57 | - Escoamento para $K_1 < K_2$ | 120 |
| Figura 58 | - Curvas de resultados para $T = 5 \text{ s}$ | 121 |
| Figura 59 | - Curvas de resultados para $T = 10 \text{ s}$ | 121 |

| | | |
|-------------|--------------------------------------|-----|
| Figura 60 - | Curvas de resultados para $T = 15$ s | 122 |
| Figura 61 - | Curvas de resultados para $T = 20$ s | 122 |
| Figura 62 - | Curvas de resultados para $T = 25$ s | 123 |
| Figura 63 - | Curvas de resultados para $T = 30$ s | 123 |

ÍNDICE DAS TABELAS

| | | |
|-------------|--|----|
| Tabela 1 - | Material elétrico | 29 |
| Tabela 2 - | Material hidráulico | 34 |
| Tabela 3 - | Características de material | 40 |
| Tabela 4 - | Propriedade físicas do material | 40 |
| Tabela 5 - | Valôres encontrados para $K_1 < K_2$ $Q = 0.030$ | 46 |
| Tabela 6 - | Valôres encontrados para $K_1 < K_2$ $Q = 0.035$ | 47 |
| Tabela 7 - | Valôres encontrados para $K_1 < K_2$ $Q = 0.040$ | 48 |
| Tabela 8 - | Valôres encontrados para $K_1 < K_2$ $Q = 0.045$ | 49 |
| Tabela 9 - | Valôres encontrados para $K_1 < K_2$ $Q = 0.050$ | 50 |
| Tabela 10 - | Valôres encontrados para $K_1 < K_2$ $Q = 0.055$ | 51 |
| Tabela 11 - | Valôres encontrados para $K_1 < K_2$ $Q = 0.060$ | 52 |
| Tabela 12 - | Valôres encontrados para $K_1 < K_2$ $Q = 0.065$ | 53 |
| Tabela 13 - | Valôres encontrados para $K_1 < K_2$ $Q = 0.070$ | 54 |
| Tabela 14 - | Valôres encontrados para $K_1 < K_2$ $Q = 0.075$ | 55 |
| Tabela 15 - | Valôres encontrados para $K_1 < K_2$ $Q = 0.080$ | 56 |
| Tabela 16 - | Valôres encontrados para $K_1 < K_2$ $Q = 0.085$ | 57 |
| Tabela 17 - | Valôres encontrados para $K_1 < K_2$ $Q = 0.090$ | 58 |
| Tabela 18 - | Valôres encontrados para $K_1 < K_2$ $Q = 0.095$ | 59 |
| Tabela 19 - | Valôres encontrados para $K_1 < K_2$ $Q = 0.100$ | 60 |
| Tabela 20 - | Valôres encontrados para $K_1 > K_2$ $Q = 0.030$ | 62 |
| Tabela 21 - | Valôres encontrados para $K_1 > K_2$ $Q = 0.035$ | 63 |
| Tabela 22 - | Valôres encontrados para $K_1 > K_2$ $Q = 0.040$ | 64 |
| Tabela 23 - | Valôres encontrados para $K_1 > K_2$ $Q = 0.045$ | 65 |
| Tabela 24 - | Valôres encontrados para $K_1 > K_2$ $Q = 0.050$ | 66 |
| Tabela 25 - | Valôres encontrados para $K_1 > K_2$ $Q = 0.055$ | 67 |
| Tabela 26 - | Valôres encontrados para $K_1 > K_2$ $Q = 0.060$ | 68 |
| Tabela 27 - | Valôres encontrados para $K_1 > K_2$ $Q = 0.065$ | 69 |
| Tabela 28 - | Valôres encontrados para $K_1 > K_2$ $Q = 0.070$ | 70 |
| Tabela 29 - | Valôres encontrados para $K_1 > K_2$ $Q = 0.075$ | 71 |
| Tabela 30 - | Valôres encontrados para $K_1 > K_2$ $Q = 0.080$ | 72 |
| Tabela 31 - | Valôres encontrados para $K_1 > K_2$ $Q = 0.085$ | 73 |

| | |
|--|----|
| Tabela 32 - Valores encontrados para $K_1 > K_2$ $Q = 0.090$ | 74 |
| Tabela 33 - Valores encontrados para $K_1 > K_2$ $Q = 0.095$ | 75 |
| Tabela 34 - Valores encontrados para $K_1 > K_2$ $Q = 0.100$ | 76 |
| Tabela 35 - Valores das vazões para a curva de Dupuit | 80 |
| Tabela 36 - Valores dos coeficientes das retas $\Delta H = f(Q)$ | 88 |
| Tabela 37 - Valores encontrados no ensaio de permeabilidade | 95 |
| Tabela 38 - Valores encontrados no ensaio de porosidade | 98 |
| Tabela 39 - Valores encontrados no ensaio de bombeamento | 99 |

SUMÁRIO

Este trabalho tem por objetivo o estudo do comportamento de um meio poroso quando sujeito a um bombeamento não permanente do tipo periódico.

Para isto, foi construído um equipamento especial e moldado um meio poroso artificial ao qual se aplicou uma condição de contorno constante, a montante, sendo realizado o bombeamento transitório a jusante.

Tendo-se escolhido a variação de altura, acarretada pela pulsação, para variável dependente, observou-se que a mesma se portava como uma função linear da vazão e do período.

Com base nesta função, pode ser feita uma distinção, para o caso, se o meio mais permeável está sujeito diretamente ao bombeamento ou não.

I. INTRODUÇÃO

Nas formações naturais do solo, encontra-se comumente lençóis de elevado grau de heterogeneidade que, na maioria dos casos, são reduzidos por hipóteses simplificadoras, a casos homogêneos.

Para lençóis homogêneos, quando sujeitos à variação constante, há métodos satisfatórios para seu estudo que nos permite a distinção, como o método de Theiss. Quando há, porém, diversas camadas sobrepostas ou justapostas parece impossível uma distinção, sob um bombeamento permanente, como no caso da figura (1).

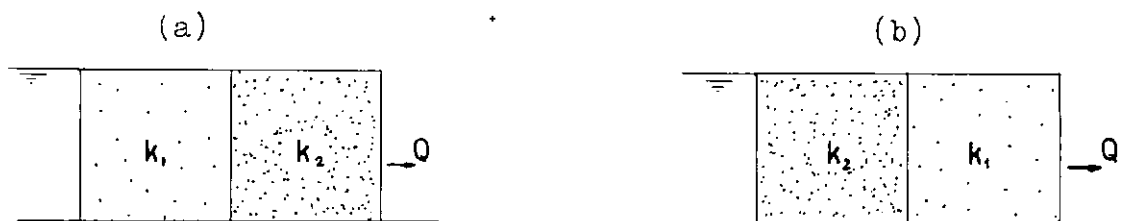


Fig. 1 - Meios heterogêneos

O estudo, neste campo, em regime não permanente - tem se resumido a casos particulares, como barragens tendo, um dos lados, o nível d'água sujeito a um abaixamento ou elevação de modo a se poder tratar o problema como uma sucessão de casos de regime permanente.

O interesse demonstrado por entidades científicas provindo de problemas surgidos na prática, nos levou ao estudo que constitui o presente trabalho.

1.1 - Objetivo

A pesquisa, que nos propuzemos realizar, teve por finalidade, investigar as consequências advindas de um bombeamento periódico em um lençol heterogêneo constituído por dois meios porosos artificialmente consolidados comparando os resultados obtidos com os provindos da mesma situação, alternando-se, porém, os meios, figuras (1a) e (1b) para, dentro destas características, procurarmos estabelecer uma lei que represente a influência dêste bombeamento.

1.2 - Limites

A impossibilidade do estudo em um meio suficientemente extenso longitudinalmente dá uma limitação natural no tocante ao comprimento. Isto acarretará a impossibilidade de se tratar o problema unidimensionalmente. Dando, ainda, ao caso um cunho bi-dimensional, há o aparecimento da superfície livre que vai acrescer o problema, de mais condições.

Tendo sido usado, na experiência, unicamente dois meios diferentes, os resultados ficam, de certo modo, limitados numericamente às duas permeabilidades embora as conclusões possam ser extendidas para uma generalização.

Como limite físico temos o limite de validade da lei de Darcy, dentro do qual trabalharemos, ou seja,

$$R = \frac{V \times d}{\mu} \leq 60$$

Os meios utilizados foram considerados, individualmente, homogêneos e isotrópicos.

Outras limitações serão tratadas quando falarmos do material e dos métodos pois são características dos instrumentos e aparelhos utilizados.

II. REVISÃO DA LITERATURA

Nesta revisão, procuramos ver o que há de mais objetivo relacionado com o problema, para o modelo utilizado. Para isto, abordamos soluções teóricas e práticas verificando as maneiras usuais de se tratar a questão.

2.1. - Resolução Teórica

2.1.1. - Regime permanente

Consideremos a figura (2) e tomemos, para seu estudo as seguintes hipóteses-

- a) Validade da lei de Darcy
- b) Terreno homogêneo e isótropo
- c) Líquido filtrante e material incompressíveis.

Baseados na hipótese (a) temos-

$$V = -k \cdot \text{grad } \varphi \quad (2-1)$$

e na b.e. teremos:

$$\text{div } V = 0 \quad (2-2)$$

Substituindo 2 - 1 em 2 - 2 temos:

$$\Delta \varphi = 0 \quad (2-3)$$

que nada mais é que a equação de Laplace e que dá a distribuição do potencial de velocidades no meio poroso.

No caso da figura (2), para resolver esta equação teríamos as seguintes condições de contorno:

Em a-b

$$\varphi = \text{cte} = H_1 \quad (a)$$

Em b-c (abstraindo-se da capilaridade)

$$\varphi = \gamma \quad (b)$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial n} = 0 \quad (c)$$

Em c-d (reinando a pressão atmosférica)

$$\varphi = \gamma \quad (d)$$

Em d-e

$$\varphi = \text{cte} = H_2 \quad (e)$$

Finalmente, em a-e (impermeável)

$$\frac{\partial \varphi}{\partial n} = 0 \quad (f)$$

O problema é resolvido empregando-se o método de -
integração de Tcharnii.

A vasão em uma determinada secção é dada por:

$$dQ_x = \int_0^h u \cdot dy \cdot dz = -k \, dz \int_0^h \frac{\partial \varphi}{\partial x} \cdot dy$$

Tomemos a vasão elementar por unidade de largura:

MEIO POROSO RETANGULAR .

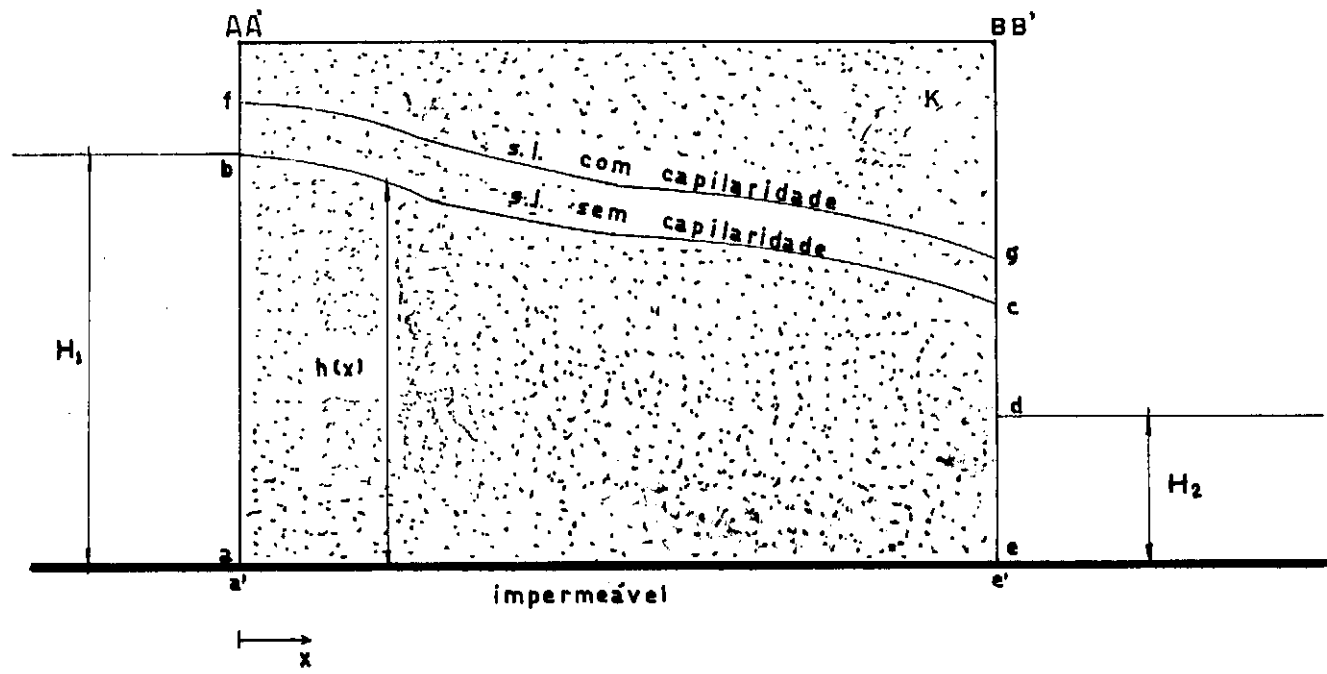


Figura 2.

$$dq_x = \frac{dQ_x}{dz} = \int_0^h u \cdot dy = -k \cdot \int_0^h \frac{\partial \psi}{\partial x} \cdot dy$$

Utilizando-se a regra de integração temos:

$$q_x = -K \left(\frac{\partial}{\partial x} \int_0^h \psi \, dy - \psi(y=h) \frac{\partial h}{\partial x} \right) \quad (2-4)$$

com a abstração da capilaridade temos:

$$\psi(y=h) = y = h$$

$$q_x = -k \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left[\int_0^h \psi \, dy - \frac{h^2}{2} \right] \quad (2-5)$$

sendo o termo entre colchetes função unicamente de x escrevemos:

$$I(x) = \int_0^h \psi \, dy - \frac{h^2}{2} \quad (2-6)$$

$$q_x = -k \cdot \frac{\partial I}{\partial x}$$

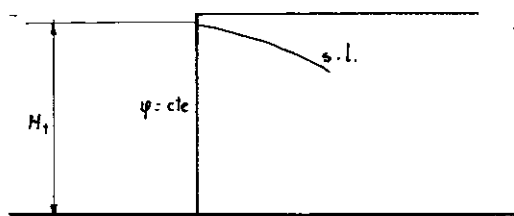
mas, pela equação da continuidade:

$$\begin{aligned} \frac{\partial q_x}{\partial x} &= 0 \\ \frac{\partial^2 I}{\partial x^2} &= 0 \end{aligned} \quad (2-7)$$

por (2-7) podemos escrever:

$$\begin{aligned} \frac{\partial I}{\partial x} &= C_1 \\ I &= C_1 x + C_2 \end{aligned} \quad (2-8)$$

Aplicando as condições de contorno temos:

Para $x=0$

$$I = \int_0^{H_1} H_1 \cdot dz = \frac{H_1^2}{2}$$

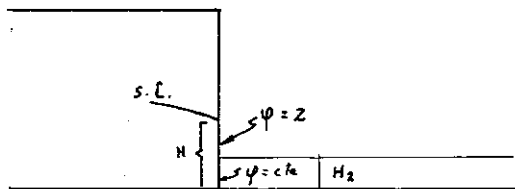
$$I = \frac{H_1^2}{2}$$

figura 3 - condições de contorno à montante.

levando para (2-8) sai:

$$C_2 = \frac{H_1^2}{2}$$

(2-9)

Para $x=L$

$$I = \int_0^{H_2} H_2 \cdot dz + \int_{H_2}^H z \cdot dz = \frac{H^2}{2}$$

$$I = \frac{H^2}{2}$$

figura 4 - condições de contorno à jusante.

Substituindo-se na equação (2-8) temos:

$$I = C_1 \cdot L + \frac{H_1^2}{2} - \frac{H_2^2}{2}$$

$$\therefore C_1 = \frac{H_2^2 - H_1^2}{2L} \quad (2-10)$$

Levando-se os valores de (2-9) e (2-10) para (2-8) temos, finalmente:

$$I = \frac{H_2^2 - H_1^2}{2L} \cdot x - \frac{H_1^2}{2} \quad (2-11)$$

Se tomarmos um plano vertical, consequentemente perpendicular ao "substratum" impermeável, que tenha por traço neste - uma curva C teremos, para vazão nesta seção:

$$Q = -k \oint_C \frac{\partial I}{\partial n} \cdot ds$$

sendo K = permeabilidade relativa do meio
 ds = arco elementar de C
 dn = normal

Tomando nosso plano vertical como sendo o $BB'e'$ tere -
 mos:

$$\frac{dl}{dh} = \frac{dl}{dx} = - \frac{H_2^2 - H_1^2}{2L}$$

$$ds = dy$$

$$\therefore Q = -k \cdot \frac{(H_2^2 - H_1^2)}{2L} \cdot \int_0^b dy$$

$$Q = \frac{k \cdot b}{2 \cdot L} \cdot (H_1^2 - H_2^2) \quad (2-12)$$

Esta fórmula é conhecida como a fórmula de Dupuit e dá a vazão dos meios para condições externas definidas e será utilizada posteriormente para um confronto com a prática.

Considerando-se a capilaridade teremos uma elevação da superfície livre para uma posição f-g, mostrada na figura - (2).

Se seguirmos os mesmos passos do estudo anterior chegaremos à conclusão que o acréscimo na descarga, por unidade de largura, devido à capilaridade é:

$$(2-13) \quad q - q_D = \frac{k \cdot hc}{L} (Z_f - Z_g) - \frac{k}{\bar{\omega} L} \left(\int_c^g p dZ + \int_f^g p dZ \right)$$

$$\text{em que } q_D = k \cdot \frac{H_1^2 - H_2^2}{2 L}$$

hc = altura capilar

$\bar{\omega}$ = peso específico da água

p = pressão

Z_f e Z_g = cotas de f e g

2.1.2 - Regime não Permanente

No escoamento bi-dimensional não permanente entra mais uma variável que é o tempo. No presente caso, ela se faria sentir através de uma variação das condições de contorno o que iria acarretar um movimento da superfície livre.

Fundamentado nas hipóteses

- 1 - Validade da Lei de Darcy
- 2 - Incompressibilidade do líquido filtrante
- 3 - $\varphi(x, y, t) = h(x, t)$

Teríamos a equação que rege o movimento transitório em um meio homogêneo que é

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = \alpha \frac{\partial \varphi}{\partial t} \quad (2.14) \text{ em que}$$

ϵ = porosidade efetiva

k = permeabilidade relativa

b = espessura

$$\alpha = \frac{\epsilon}{k \cdot b}$$

Nas condições de contorno não teríamos a superfície livre regida por uma condição do tipo (b), (c) do item anterior, mas sim, uma equação que regeria seu movimento, da forma:

$$\frac{\epsilon}{k} \times \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial h}{\partial x} \times \frac{\partial \varphi}{\partial x} - \frac{\partial \varphi}{\partial y} \quad (2.15)$$

Resumindo-se, para se solucionar o problema da figura (2) em regime não permanente, necessitar-se-ia solucionar a equação (2.14) para as seguintes condições de contorno, - abstraindo -se do efeito capilar:

| | | |
|----|-----|---|
| Em | a-b | $\varphi = H_1(t)$ |
| Em | b-c | dada pela eq. (2.15) |
| Em | c-d | $\varphi = y(t)$ |
| Em | d-e | $\varphi = H_2(t)$ |
| Em | a-e | $\frac{\partial \varphi}{\partial n} = 0$ |

Como podemos observar, o caso, mesmo sendo homogêneo, é de difícil tratamento, ainda que casos particulares simples possam ser resolvidos, como aqueles em que o nível de montante ou jusante sofrem um abaixamento ou elevação - muito lentos, que se faz considerando como uma sequência de casos permanentes.

2.1.3 Meios Heterogêneos

Tomemos um escoamento através de dois solos de permeabilidades diferentes k_1 e k_2 , e chamemos à linha de separação de A-B. figura (5) e seja n uma normal.

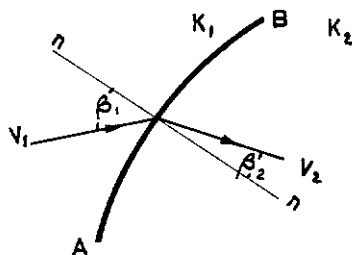


figura 5 - refração na linha de separação dos meios.

A lei que rege o fenômeno é semelhante à lei da refração e nos dá:

$$\frac{\operatorname{tg} \beta_1}{\operatorname{tg} \beta_2} = \frac{k_1}{k_2} \quad (2-16)$$

No estudo de meios como este, costuma-se substituí-los por um meio equivalente homogêneo, adotando-se para isto fórmulas conforme se tratem de meios em paralelo - figura (6) - ou meios em série - figura (7).

Para meios em paralelo:

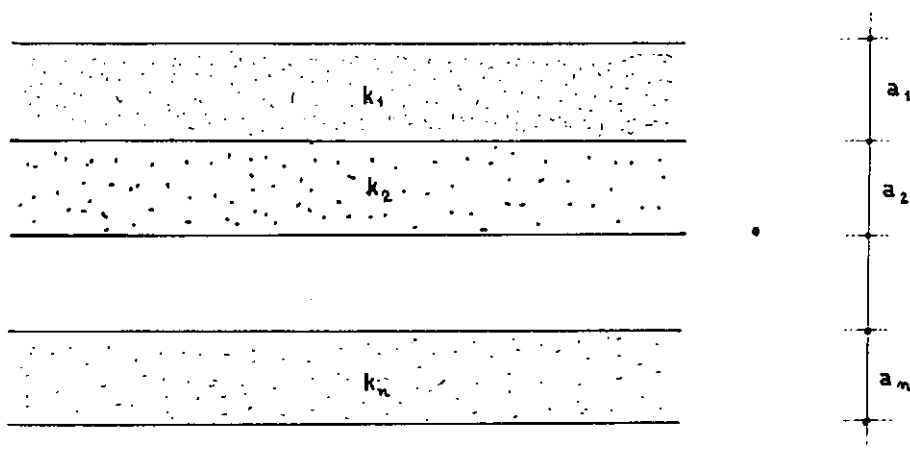


figura 6 - meios em paralelo.

$$k = a_1 \cdot k_1 + a_2 \cdot k_2 + \dots + a_n \cdot k_n \quad (2-17)$$

em que:

$$a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n = 1$$

Para meios em série.

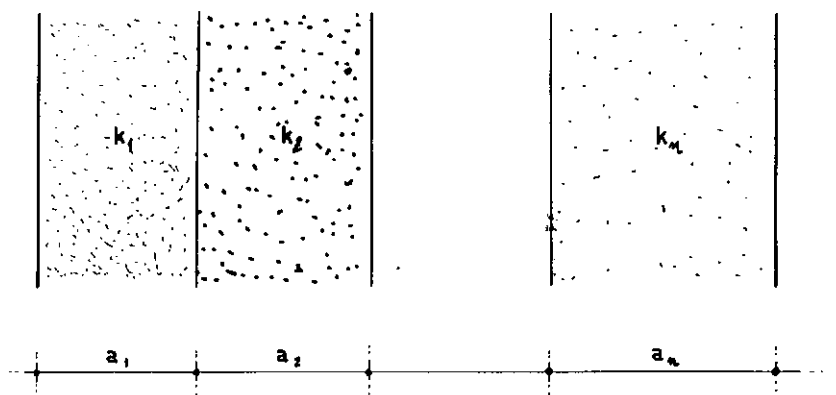


figura 7 - meios em série

$$K = \frac{1}{\frac{a_1}{k_1} + \frac{a_2}{k_2} + \dots + \frac{a_n}{k_n}}$$

Fórmula esta de bom resultado para escoamentos em carga.

2.1.4 Conclusão da teoria

Para solução do problema proposto, teríamos então que solucionar o caso do item 2.1.2 acrescido da condição 2-16 o que ainda complicaria ainda mais o problema transformando-o em um caso de difícil solução.

2.2 - Resolução analógica

Muito empregados nas soluções de problemas de escoamento, os métodos analógicos são um recurso que pode ser de grande auxílio não só na solução, como também, na visualização dos problemas, destacando-se os de analogia elétrica e o de analogia viscosa.

2.2.1 - Papel Teledeltos

O emprêgo do papel Teledeltos recorre à analogia existente entre as diversas variáveis elétricas e hidráulicas em suas leis fundamentais. Ao papel, são figuradas as condições de contorno e a distribuição do potencial é verificada com o plotador. No caso de escoamento a superfície livre, acresce o problema de esta dever ser determinada "a priori", por tentativas, para depois, então, poder-se -

tratar o caso.

A heterogeneidade do meio, principal dificuldade do uso deste método, pode ser simulada pela associação de papéis de resistividades diferentes ou, mais simplesmente, pela perfuração do papel para a consideração de uma permeabilidade menor. Se utilizamos furos circulares, a densidade de furos máxima que pode ser utilizada é:

$$\frac{S_{\text{solid}}}{S_{\text{tot}}} = \frac{1}{10,8}$$

Este método, porém, oferece a restrição de não ser de fácil aplicação para o caso do movimento não permanente - sendo útil, se bem que com bastante cautela, para o caso de uma superfície livre descendente.

2.2.2 - Rêde de resistências

O uso da rêde de resistências é mais completo no trato da percolação em um meio heterogêneo que o papel Tele-deltos, se regendo pelos mesmos princípios, embora, como - aquêle, sua aplicação se restrinja, praticamente, ao movimento permanente.

Nêste método, substitui-se uma área do solo por - uma resistência equivalente, calculada, segundo o caso, por fórmulas de conversão. Após armada, são aplicadas as condições no contorno e a distribuição dos potenciais é plotada nos diversos nós, traçando-se, posteriormente, com eventuais interpolações, as linhas equipotenciais.

Uma das vantagens dêste método sôbre o do Teledeltos é a possibilidade de representação de anisotropia do solo.

2.2.3 - Método das placas paralelas

Também conhecido como da analogia viscosa ou do - modelo de Hele-Shaw, consiste em duas placas paralelas montadas em conjunto tendo entre elas um espaço capilar - (0,5 a 3,5 mm). Baseia-se na similitude entre as equações diferenciais que descrevem o escoamento, como da água, através de um meio poroso saturado e as que descrevem o escoamento laminar de fluidos viscosos através do espaço capilar entre duas placas paralelas.

Seu uso em movimento transitório também se resume a casos em que a variação com o tempo é lenta e contínua. - A heterogeneidade pode ser representada por placas de distâncias proporcionais.

2.3 - Modêlos reais

O emprêgo de modêlos é, para o caso, o método muito mais prático pois nos faculta a estabelecer as condições desejadas, assim como, verificar diversos fenômenos que ocorrem na prática, e é o método utilizado em nosso estudo e de que trataremos nos próximos capítulos.

III - MATERIAL E MÉTODOS

O equipamento utilizado - figura (8), foi projetado e construído com a finalidade principal de capacitar o estudo a que nos propuzemos de maneira que procuraremos dar aqui uma descrição mais detalhada.

Para efeito explicativo, dividimo-la em cinco partes a saber:

- a) Cuba de infiltração
- b) Torre de controle de nível
- c) Equipamento elétrico
- d) Equipamento hidráulico
- e) Acessórios.

3.1 - Cuba de infiltração

Trata-se de uma caixa estanque, de secções transversal e longitudinal retangulares, - figura (9) - destinada a alojar o meio poroso, tendo a parte de cima livre, - construída totalmente em acrílico de 10 mm de espessura, - tendo em sua base dois furos, dispostos simètricamente, - por onde será injetado o fluido. Nestes furos, estão fixados dois niples de 1 1/4", que servirão para o engate da mangueira condutora de água.

Para evitar a penetração de poeira foram colocadas tampas dobráveis de acrílico cobrindo a parte onde ficará o líquido. Para a prevenção de abaulamento da caixa, foram feitos tirantes, também de acrílico, enquanto que, - com a finalidade de dar apoio e segurar a régua, foram fi-

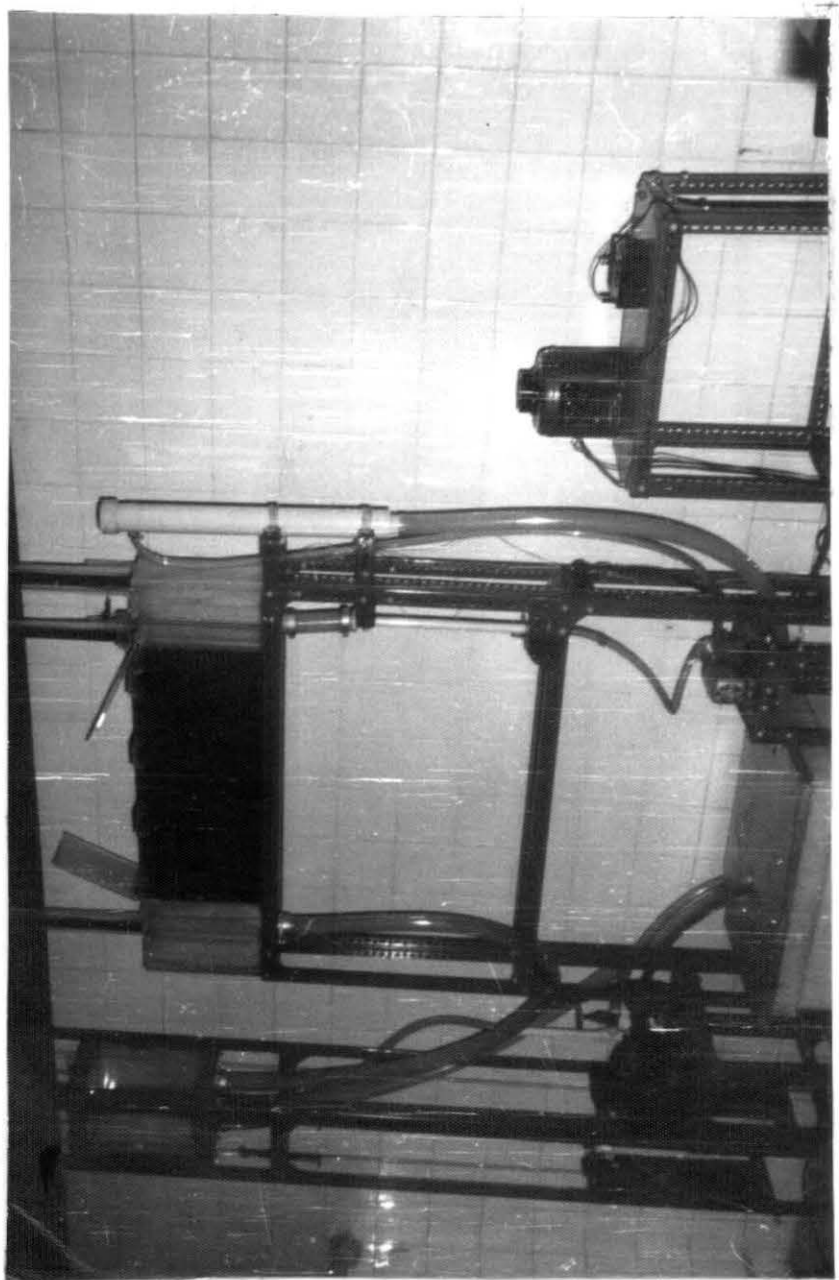


Figura 8. - Aparelhagem (vista geral)

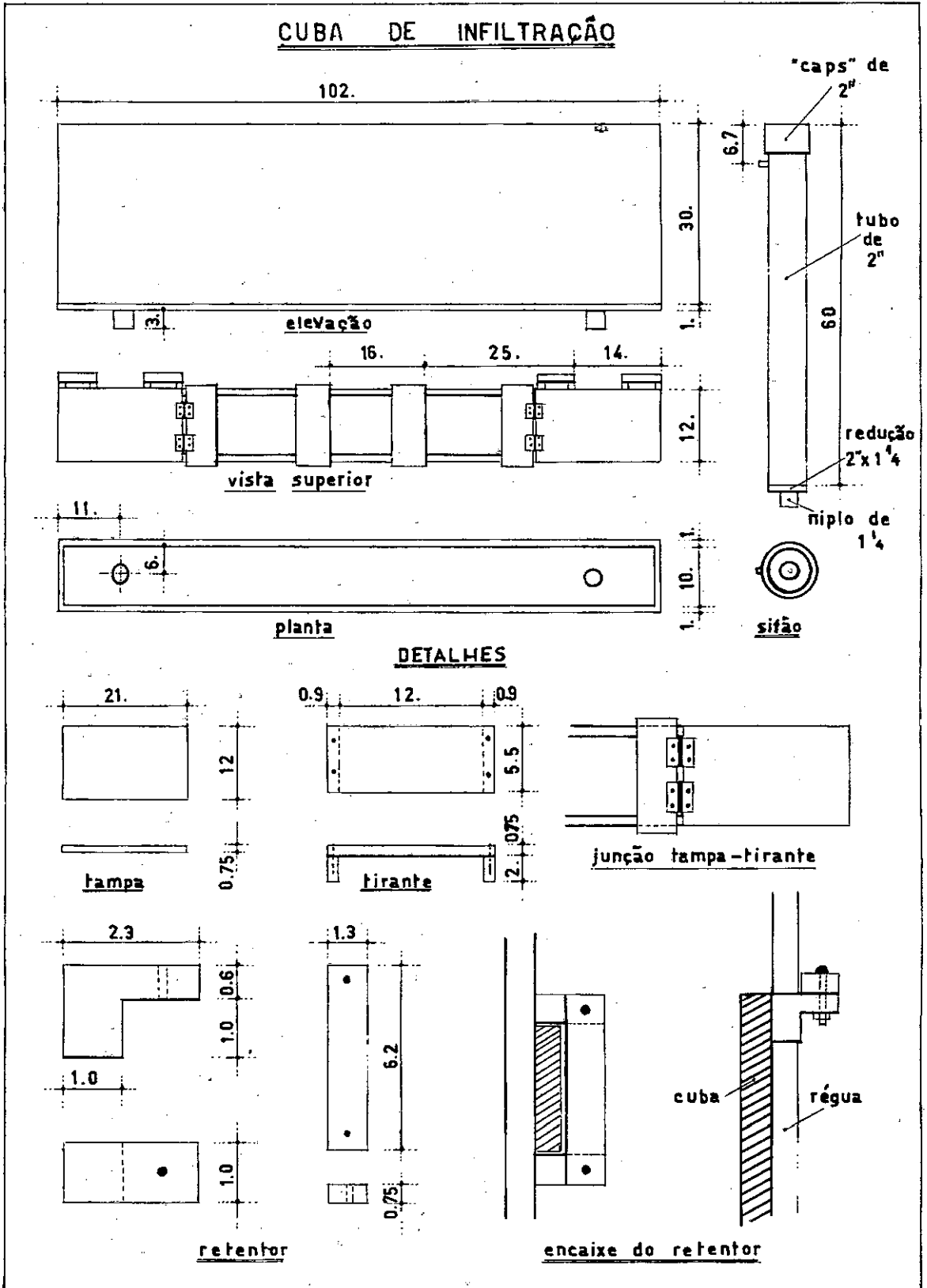


Figura 9.

xados à caixa retentores de acrílico, figura (9).

A cuba é ligada ao reservatório elevado por um tubo de 1 $\frac{1}{2}$ " e por outro tubo de mesmo diâmetro à bomba destinada a imprimir o bombeamento periódico.

Seu suporte é totalmente feito com "dexion", de dimensões transversais cotadas na figura (10). Nêles estão alojados um encaixe para o registro, suporte para o sifão, ambos de dexion, além de tomadas para as duas bombas.

As cantoneiras são ligadas com parafusos de 1/2", apropriadas e possuem reforços especialmente fabricados.

A figura (11) mostra o sistema cuba-suporte.

3.2 - Torre de controle de nível

Consiste em uma estrutura suporte feita de "dexion" - na qual foram fixadas duas roldanas por onde passam os cabos de aço que seguram o reservatório elevado, figura (12). Este, feito em acrílico contém um vertedor com um "níplo" para o extravasamento, uma saída para a tomada d'água e um outro "níplo" para a condução à cuba. Está emoldurado por uma estrutura em dexion que lhe serve de apoio e onde estão presos os cabos de aço.

As outras extremidades dos cabos prendem-se em pesos de aço estrutural, pesando 5 kg cada, para equilibrar o peso do reservatório, num total de 16 kg, cheio d'água, facilitando assim seu manejo através de parafusos calantes que, apoiados na estrutura principal dão ao mesmo uma variação de altura de 13 cm, tendo sido feitos com vergalhão de 3/8".

Esta torre de equilíbrio, detalhada na figura (13), irá manter uma condição limite fixa a montante do escoamento.

O sistema possui ainda guias para os pesos. O reservatório está ligado diretamente a uma bomba que a alimenta com o líquido provindo de um tanque, para onde reverte o excesso descarregado pelo vertedor.

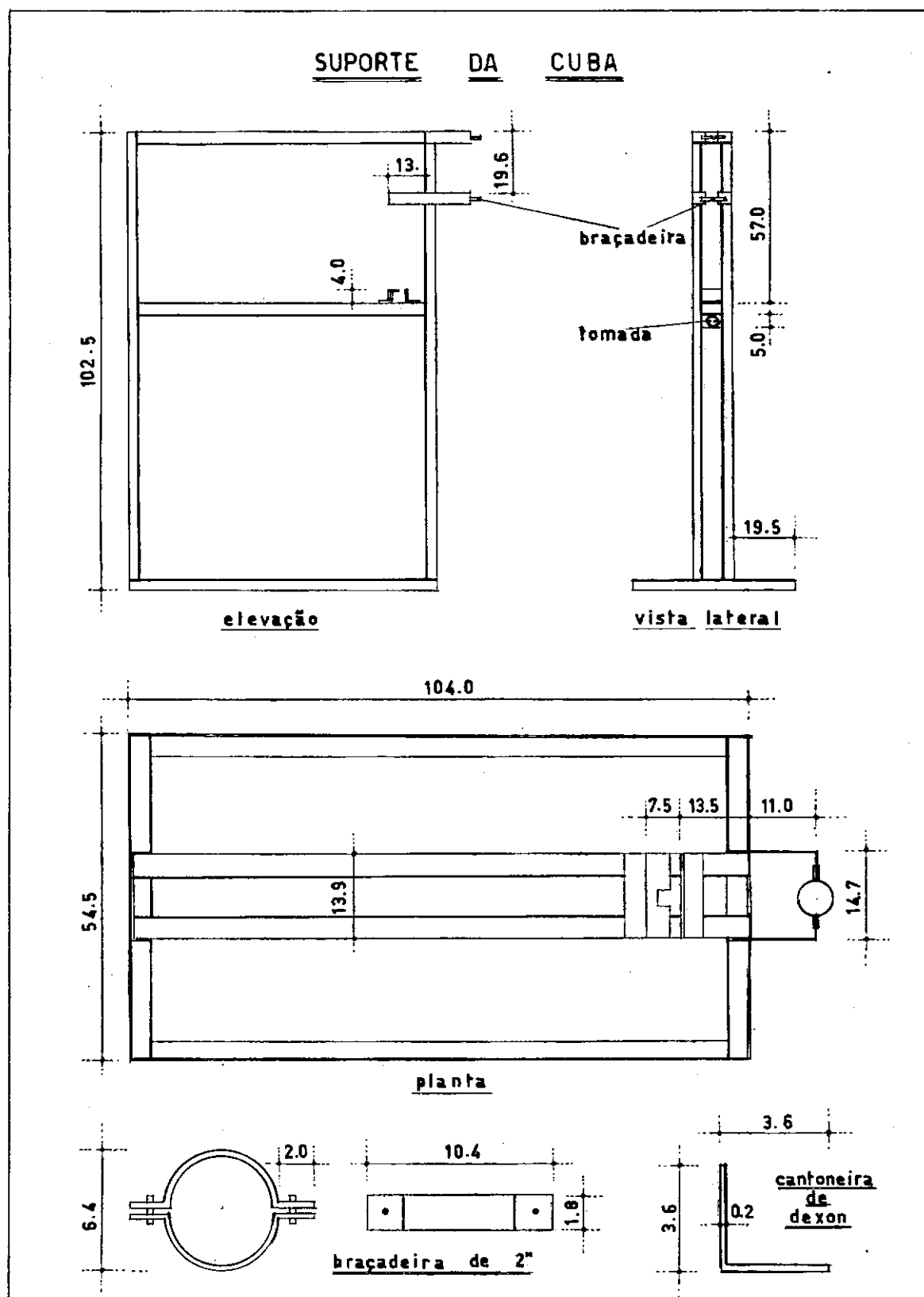


Figura 10.

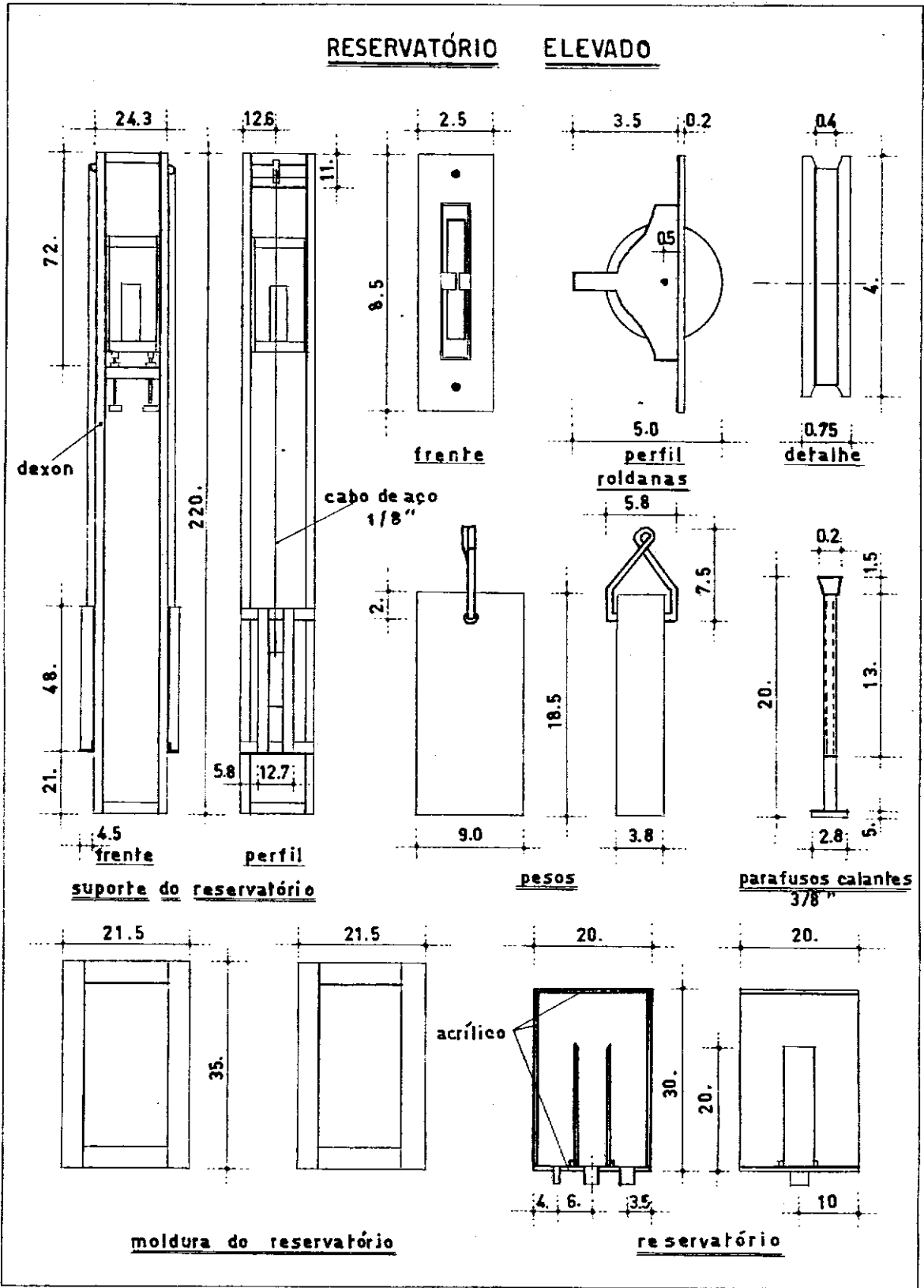


Figura 13.

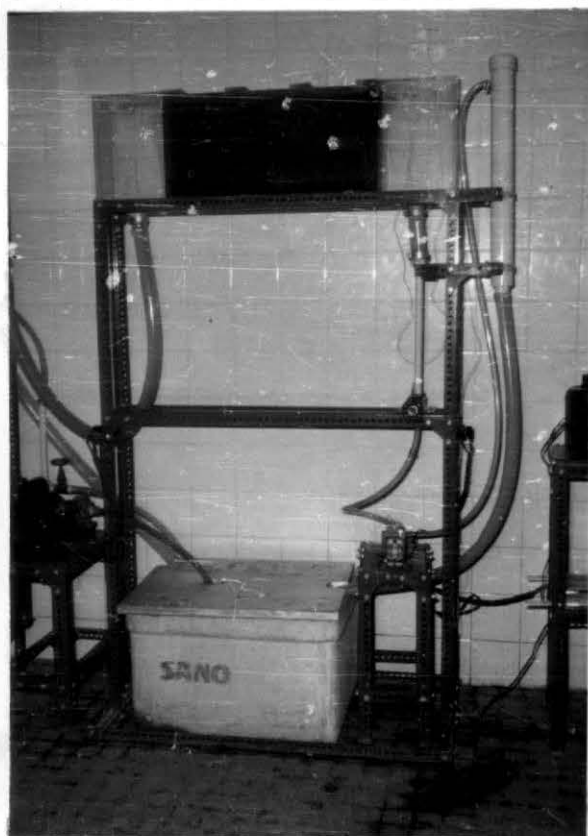
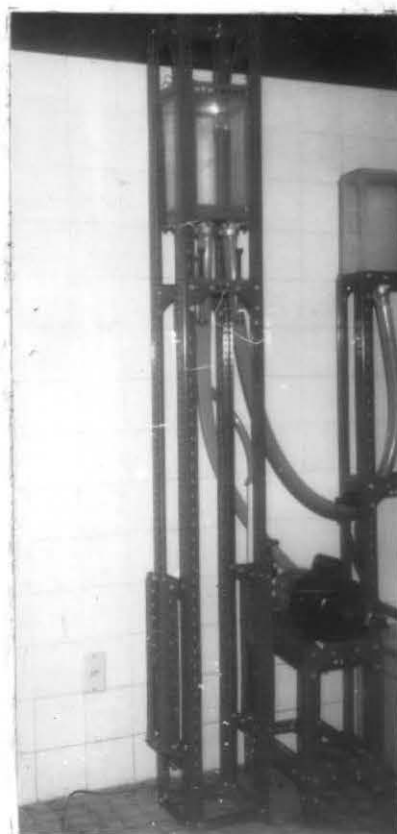


Figura 11. -
Cuba de infiltração
e seu suporte.

Figura 12.
Reservatório elevado
e seu suporte.



3.3 - Sistema elétrico

O sistema elétrico constitui-se, basicamente de 2 circuitos. O primeiro é o de alimentação das bombas e o segundo o elétrico de medição - figura (14).

O circuito de alimentação das bombas se subdivide no de alimentação da bomba A constituída pela tomada de - 110v (1), circuito 5,6 e 11 e é controlado pelo interruptor (I); e no de alimentação da bomba B que consiste na tomada (11), circuito 7,8 e 12, interruptor (J) e transformador (B) com - saída para a bomba B e com finalidade de variar a tensão de entrada na mesma, modificando, com isto, sua vasão. A alimentação é feita por corrente alternada.

O circuito elétrico de medição é constituído de - uma alimentação (4) reduzida pelo transformador (D), uma - ponta elétrica de medição (E), um sistema retificador de sanal (H), detalhado na figura (15), que, em conjunto com os interruptores (i) e (J), constituem o painel de comando (G), e um registrador (c).

A alimentação é feita pela tomada através de um variador de tensão, que imprime ao circuito um potencial de - 10 v. A utilização da corrente alternada visa evitar os - efeitos da eletrólise, que ocorreriam se se tivesse utilizado corrente contínua e o emprêgo de baixa tensão é por questão de segurança.

A ponta elétrica consiste de dois fios de cobre, de 1,0 mm de diâmetro e 40 cm de comprimento, situados, paralelamente, a uma distância de 1,0 cm, um do outro, fixos em -

SISTEMA ELÉTRICO
circuito geral

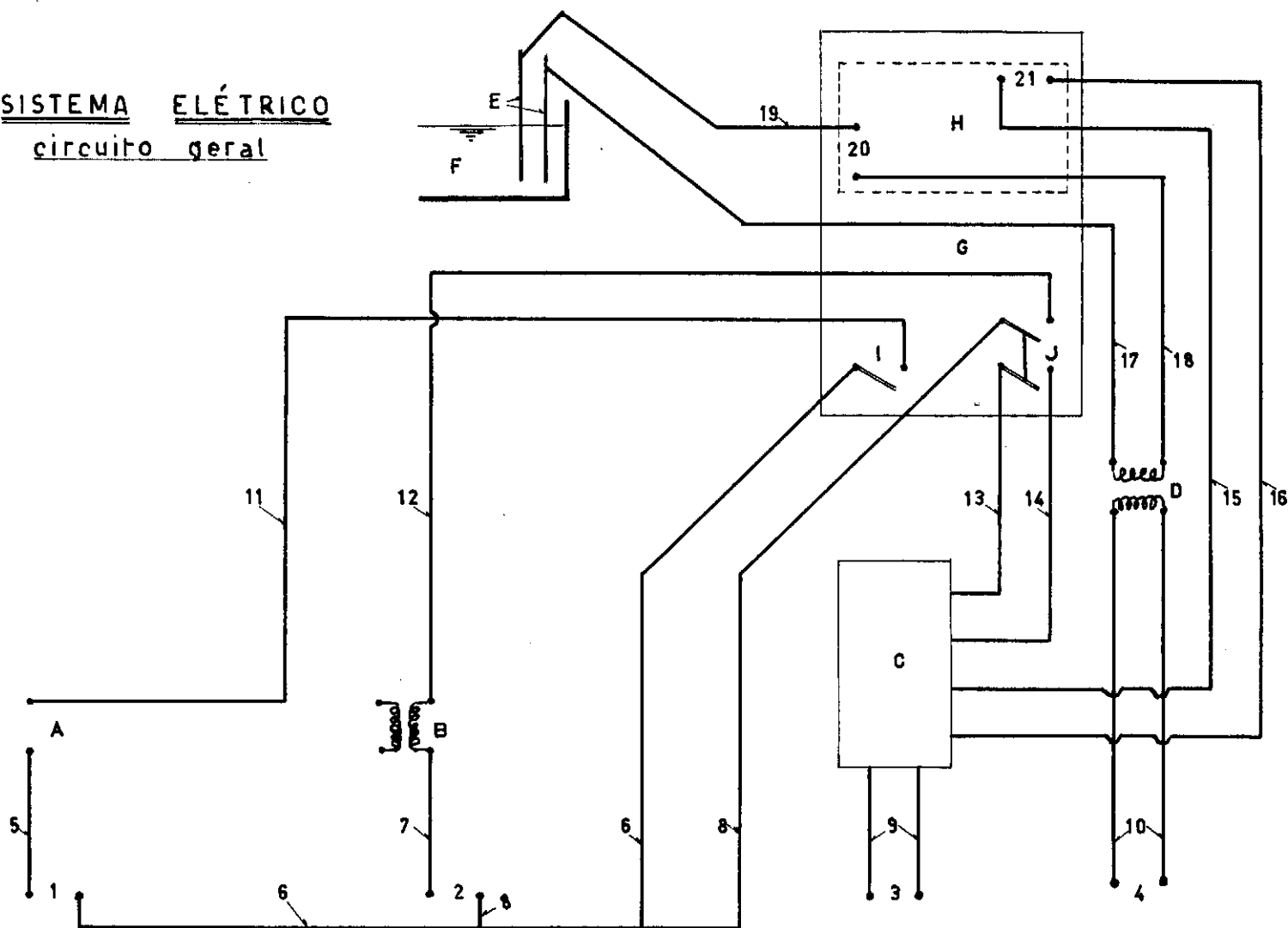


Figura 14

Figura 15.

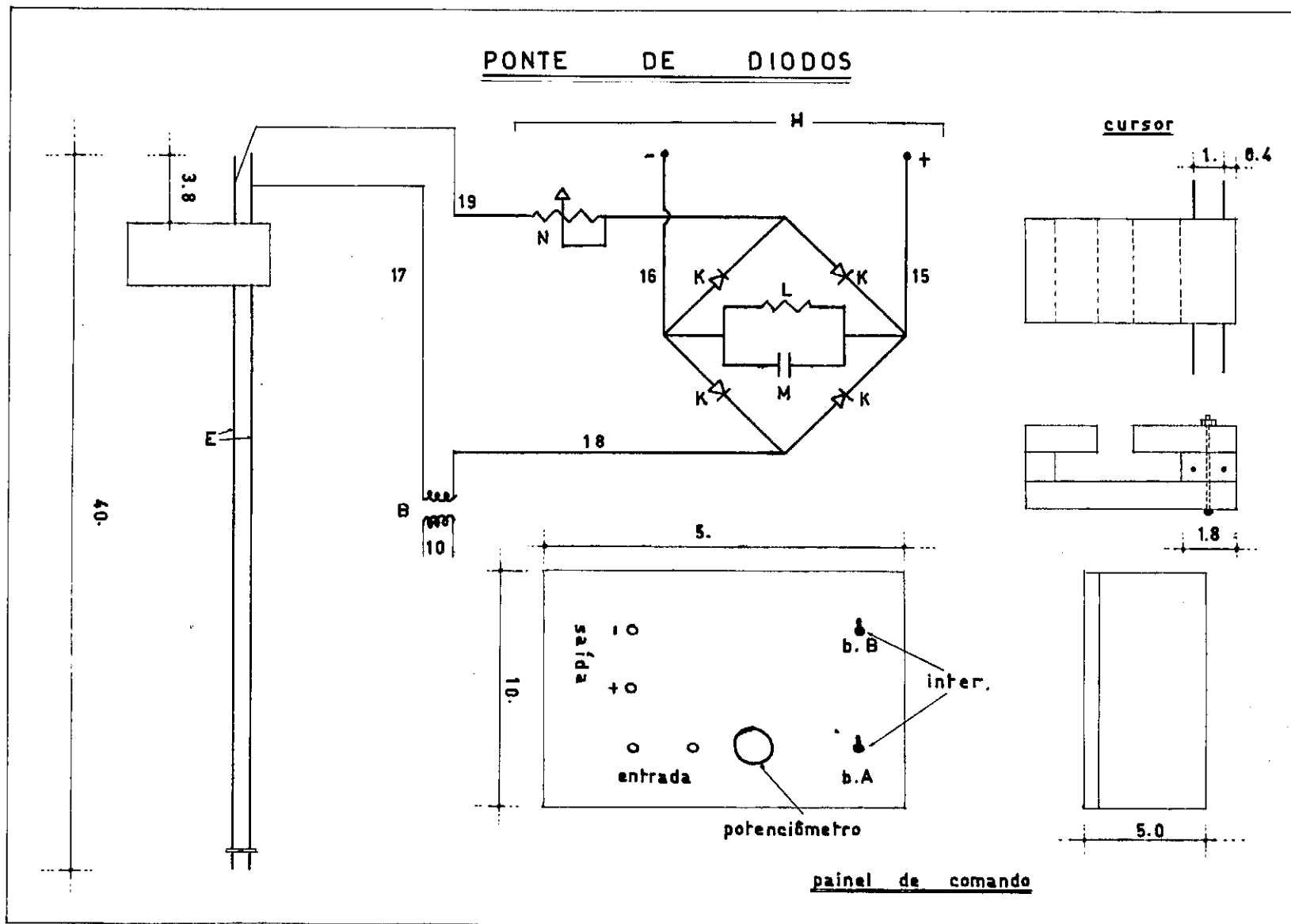


TABELA 1
Material elétrico

| Nº | ESPECIFICAÇÃO | UNID | QUANT. |
|------------------------|---------------------------------------|------|--------|
| 1 | Tomada de plástico, 15 A | u | 1 |
| 2 | Tomada de plástico, 15 A | u | 1 |
| 3 | Tomada de plástico, 15 A | u | 1 |
| 4 | Tomada de plástico, 15 A | u | 1 |
| 5 | Fio nº 14. | m | 1.0 |
| 6 | Fio nº 14 | m | 5.0 |
| 7 | Fio nº 14 | m | 1.0 |
| 8 | Fio nº 14 | m | 4.0 |
| 9 | Fios do registrador | - | - |
| 10 | Fios do registrador | - | - |
| 11 | Fio nº 14 | m | 5.0 |
| 12 | Fio nº 14 | m | 4.0 |
| 13 | Fio nº 18 | m | 1.0 |
| 14 | Fio nº 18 | m | 1.0 |
| 15 | Fio nº 18 | m | 1.5 |
| 16 | Fio nº 18 | m | 1.5 |
| 17 | Fio nº 18 | m | 5.0 |
| 18 | Fio nº 18 | m | 1.5 |
| 19 | Fio nº 18 | m | 4.0 |
| 20 | Entrada da Ponte | - | - |
| 21 | Saida da Ponte | - | - |
| DETALHES DA FIG. nº 14 | | | |
| A | Tomada plástico, 15A da bomba A | | |
| B | Transformador de tensão B, da bomba B | | |
| c | Registrador | | |
| D | Transformador de tensão D | | |
| E | Ponte elétrica de medição | | |
| F | Cuba de infiltração | | |

| Nº | ESPECIFICAÇÃO | UNID. | QUANT. |
|----|------------------------------------|-------|--------|
| G | Painel de comando | | |
| H | Ponte retificadora | | |
| I | Interruptor de 15 A, da bomba A | | |
| J | Interruptor de 15 A, da bomba B | | |
| | DETALHES DA FIG. nº 15 | | |
| K | Diodos OA 85 | | |
| L | Resistência de 1 k Ω | | |
| M | Capacitor de 200 mf, 50 V | | |
| N | Potenciômetro linear 5 K Ω | | |

um cursor que corre em uma escala graduada, podendo a parte imersa daquela variar de 0 a 30 cm. Se alterarmos a altura da parte imersa, a corrente conduzida variará em função desta variação, função esta estabelecida antes das medições, através da calibração da ponta elétrica, por uma curva como a da figura (16). Com ela, posteriormente, faremos as conversões de altura no registrador para altura real. A utilização de água com alguma impureza nos permite o emprêgo deste sistema, pois funciona como uma resistência.

O sinal emitido vai para a ponte de diodos - figura (15), que o retifica enviando-o ao registrador que se encarrega de imprimir os resultados que serão interpretados - "à posteriori", com a curva de calibração.

Completando o sistema, temos um pequeno circuito - para impressão de sinais (13) e (14) que, alimentado internamente pelo registrador e controlado pelo interruptor J, - simultâneamente com a bomba B, sem, entretanto, dela sofrer influência, servirá para registrar no papel, os períodos de funcionamento da bomba B.

3.4 - Sistema Hidráulico

Constitui-se essencialmente de duas bombas, uma - caixa d'água e uma série de peças e tubulações esquematizadas na figura (17). A bomba A, (7), que é a maior das - duas, cuida do abastecimento e a bomba B (39) cuida do esgotamento e tem sua variação variando com a tensão de entrada. Com esta finalidade foi traçada uma curva de calibração para facilitar esta escolha.

A caixa d'água é do tipo comum, em cimento-amian

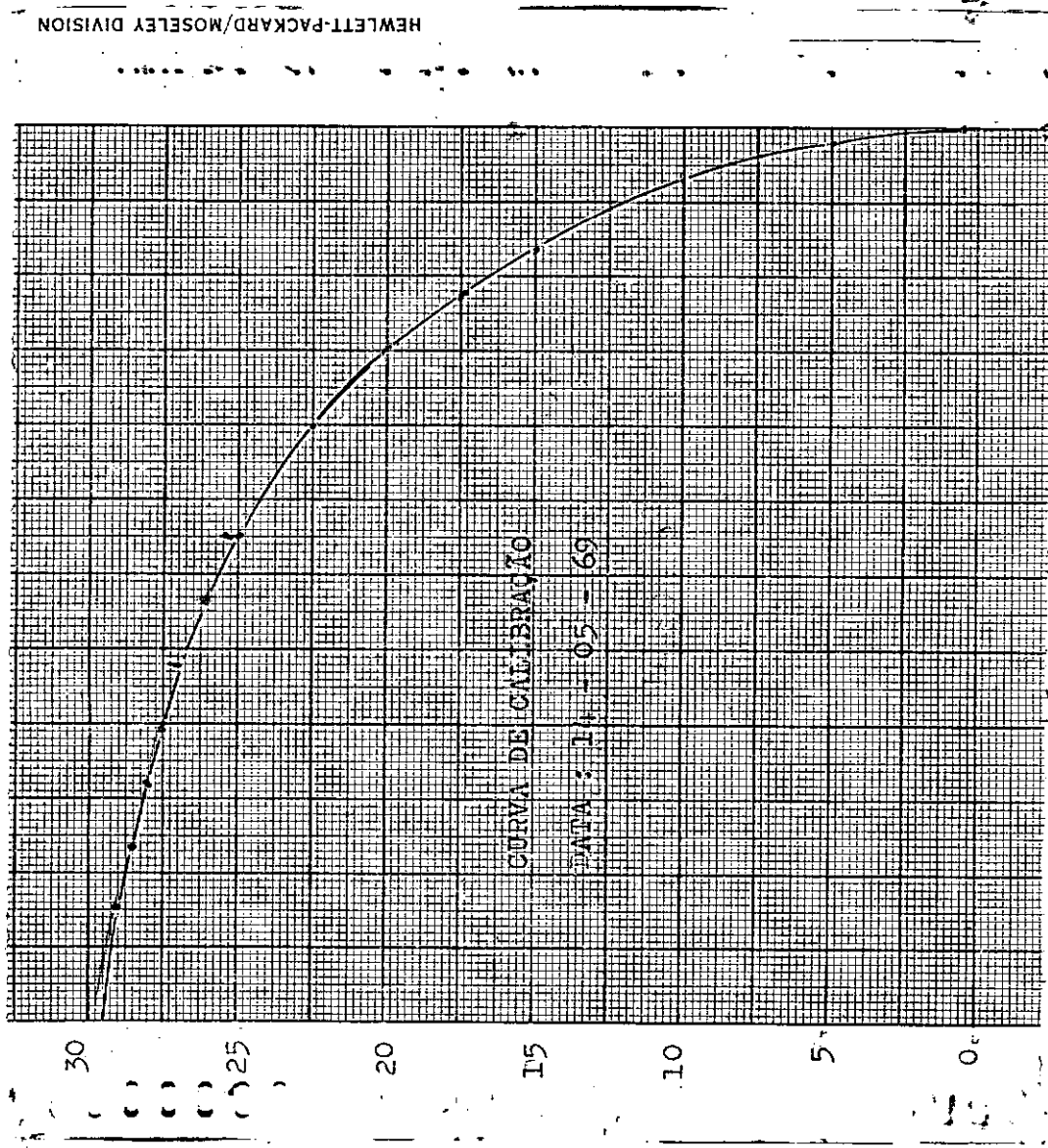


Figura 16. - Curva de calibração da ponta

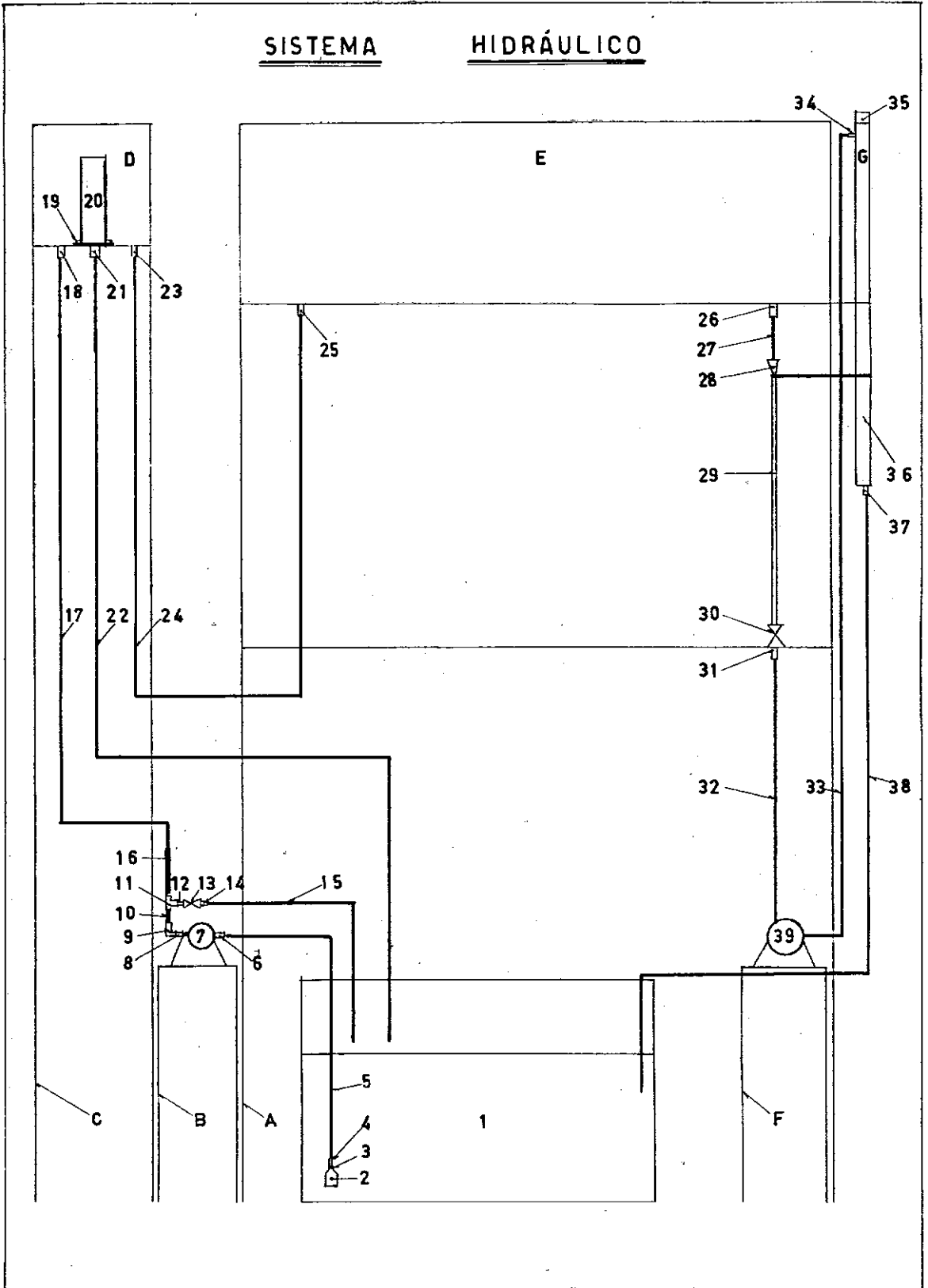


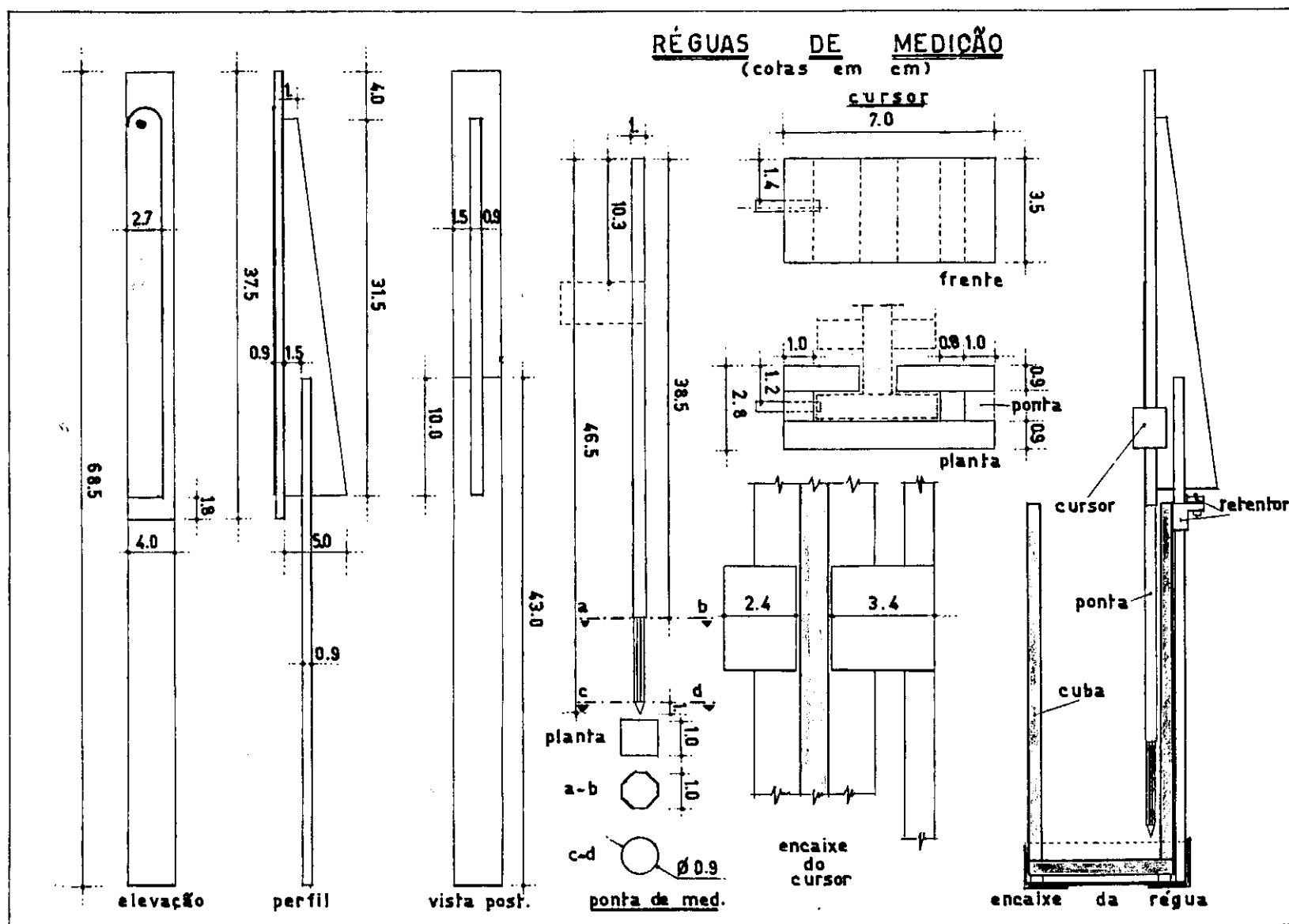
Figura 17.

TABELA (2)
Material Hidráulico .

| Nº | ESPECIFICAÇÃO | UNID. | QUANT. |
|----|---|-------|--------|
| 1 | Caixa d'água "SANO" para 100 litros | u | 1 |
| 2 | Válvula de Fe F, de ponta, 3/4" | u | 1 |
| 3 | Redução 3/4" x 1/2" de plástico | u | 1 |
| 4 | Niplo de 1/2", plástico | u | 1 |
| 5 | Tubo de plástico flexível, transparente de 3/4" | m | 0,75 |
| 6 | Niplo de 1/2", plástico | u | 1 |
| 7 | Bomba A (vide apêndice E) | - | - |
| 8 | Niplo de 1/2", plástico | u | 1 |
| 9 | Curva de 1/2", plástico | u | 1 |
| 10 | Niplo de 1/2", plástico | u | 1 |
| 11 | Tê de 1/2", plástico | u | 1 |
| 12 | Niplo de 1/2", plástico | u | 1 |
| 13 | Registro de gaveta de 1/2", Fe. Fund. | u | 1 |
| 14 | Niplo de 1/2", plástico | u | 1 |
| 15 | Tubo plástico flexível, transparente, 3/4" | m | 0,70 |
| 16 | Tubo plástico rígido de 1/2" | m | 0,25 |
| 17 | Tubo plástico flexível, transparente, 3/4" | m | 1.00 |
| 18 | Saida de 3/4", Fe. Fund. | u | 1 |
| 19 | Flange de 2", de plástico | u | 1 |
| 20 | Vertedor - tubo plástico de 2" rígido | m | 0.20 |
| 21 | Niplo de 1 1/4" , plástico | u | 1 |
| 22 | Tubo plástico de 1 1/2", flexível, transparente | m | 2,00 |
| 23 | Niplo de 1 1/4" , plástico | u | 1 |
| 24 | Tubo plástico de 1 1/2", flexível, transparente | m | 1.80 |
| 25 | Niplo de 1 1/4" , plástico | u | 1 |

| Nº | ESPECIFICAÇÃO | UNID. | QUANT. |
|----------|---|-------|--------|
| 26 | Niplo de 1 1/4", plástico | u | 1 |
| 27 | Tubo plástico de 1 1/2", flexível, transparente | m | 1 |
| 28 | Redução 1 1/4" x 1/2" , plástico | u | 1 |
| 29 | Tubo plástico de 1/2", rígido | m | 0,39 |
| 30 | Registro de gaveta de 1/2" , Fe. Fund. | u | 1 |
| 31 | Saida de 1/2", Fe. Fund. | u | 1 |
| 32 | Tubo plástico de 1/2", flexível, transparente | m | 0,60 |
| 33 | Tubo plástico de 1/2", flexível, transparente | m | 1.55 |
| 34 | Virola de 1/2", latão | u | 1 |
| 35 | "Caps" de 2" , plástico | u | 1 |
| 36 | Tubo plástico de 2" rígido | m | 0,60 |
| 37 | Niplo de 1 1/4", plástico | u. | 1 |
| 38 | Tubo plástico de 1 1/2", flexível, transparente | m | 1.60 |
| 39 | Bomba B (vide apêndice E) | - | - |
| DETALHES | | | |
| A | Suporte da cuba | | |
| B | Suporte da Bomba A | | |
| C | Suporte do reservatório | | |
| D | Reservatório elevado | | |
| E | Cuba de infiltração | | |
| F | Suporte da bomba B | | |
| G | Sifão | | |

Figura 18.



to, com capacidade para 100 l.

3.5 - Accessórios

Complementando ainda a aparelhagem temos, ainda, - um sistema de medição estático formado pelas pontas de medição, - figura (9) para evitar o vazamento na bomba B, um voltímetro e um cronômetro.

O sistema de medição estático é constituído de pontas feitas em acrílico fixadas em cursores que correm em réguas, ambos do mesmo material da ponta, às quais estão fixadas escalas de aço inoxidável de 30 cm. Utiliza-se para medir níveis estáticos. O voltímetro encontra-se acoplado ao transformador que regula a bomba B e tem por finalidade ratificar a tensão. Finalmente, o cronômetro é importante no contrôle do período que se escolher.

Ao lado deste equipamento foram utilizados peneiradores, porosímetro e permeâmetro para confecção do meio e ensaaios característicos. Utilizou-se, ainda, o computador - IBM 1130 para minimização dos cálculos. Foi ainda valioso o equipamento mecânico que nos facultou a construção desta aparelhagem.

3.6 - Preparo do modelo

Uma vez escolhido o meio poroso artificial consoligado, vantajoso por sua estrutura estável, em condições normais, e possuindo boa aderência com o material da cuba o que evitaria caminhos preferenciais, passamos à moldagem do mesmo.



Figura 19. Registrador.

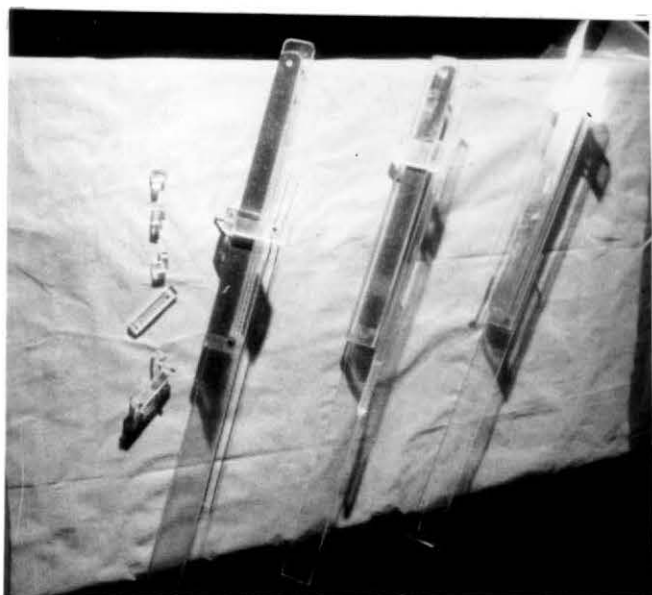


Figura 20 - Réguas de medição.

Na sua confecção utilizou-se areia, que, após - peneirada em faixas de granulometria adequada, foi lavada - e sêca, posteriormente, em estufa; e cola do tipo Araldite. Foram utilizadas duas faixas de granulometria diferentes.

O preparo do meio heterogêneo se deu em duas fases. Na primeira, após o preparo de uma fôrma na cuba, - que iria dar ao meio o formato que se desejava, misturou-se areia de uma granulometria com Araldite, êste na proporção de 5% em pêsso, até constituir uma massa homogênea. Esta - massa foi colocada na fôrma, em camadas de 3 cm. aproximada^{mente}, que iam sendo compactadas com um socuete a medida que iam sendo depositadas. Após 24 h. de secagem, preparou-se a 2a fase, após a desformagem da 1a, tendo, agora, uma das faces laterais do meio já moldado como fôrma, e procedendo-se do mesmo modo com o 2º tipo de areia.

Da mesma forma com que era feito o modêlo, eram - retiradas amostras em tubos plásticos de 1", para os ensaios de permeabilidade e porosidade.

O meio heterogêneo, após moldado tomou o aspecto da figura (21)

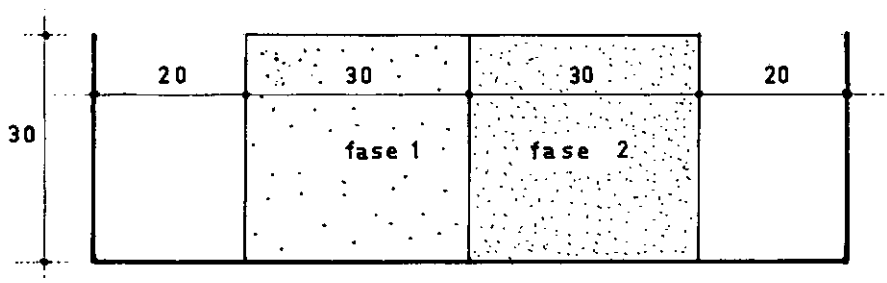


Figura 21 - Moldagem dos meios.

Na tabela (3) estão as características dos meios conseguidos.

Tabela 3 - Características do material.

| TIPO | MATERIAL | ϕ ^(mm) grãos | PENEIRAS | DIMENSÕES (cm) | QUANTIDADE | ARALDITE |
|------|----------|---------------------------------|----------|-------------------|------------|----------|
| A | areia | 2.0 - 1.19 | 10 - 16 | 30 x 30 x 10 | 16 kg | 800 g |
| B | " | 1.19 - 1.0 | 16 - 18 | 30 x 30 x 10 | 16 kg | 800 g |

As características físicas, da tabela 4, foram determinadas em ensaios de laboratório, transcritos no anexo - para as amostras retiradas.

Tabela 4 - Propriedades físicas do material.

| Tipo | Perm.Geométrica | Porosidade |
|------|------------------------------------|------------|
| A | $1.80 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$ | 38,2 % |
| B | $0.95 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$ | 35.7 % |

3.7 - Método empregado

Uma vez pronta a aparelhagem e o modelo, partimos para o estudo do efeito de um bombeamento periódico no meio, com os objetivos já definidos no item 1.1. Com o auxílio da bomba A e da torre de equilíbrio, fixamos o montante do meio uma condição de contorno constante para todos os ensaios e que, com o auxílio dos parafusos calantes, manteremos no correr dos mesmos. O líquido percola através do meio - heterôgêneo, saindo a jusante.

Quando atingido o equilíbrio estático, escolhe-se uma vasão para a bomba B e imprime-se ao sistema uma pulsa-

ção, resultando em um desequilíbrio em que níveis máximo e mínimo se modificam a cada período, convergindo, porém, para valores constantes como se pode verificar, na figura (22) pelo gráfico plotado pelo registrador.

Chegando a este ponto de estabilização, cessamos o bombeamento e retiramos aqueles valores dos níveis máximo e mínimo, da vazão e período em que foram alcançados, fazendo, com eles, tabelas.

Normalmente, toma-se uma vazão determinada e aplica-se ao sistema uma variação periódica do tipo da figura (23) em que o período de bombeamento é igual ao período em que a bomba não funciona.

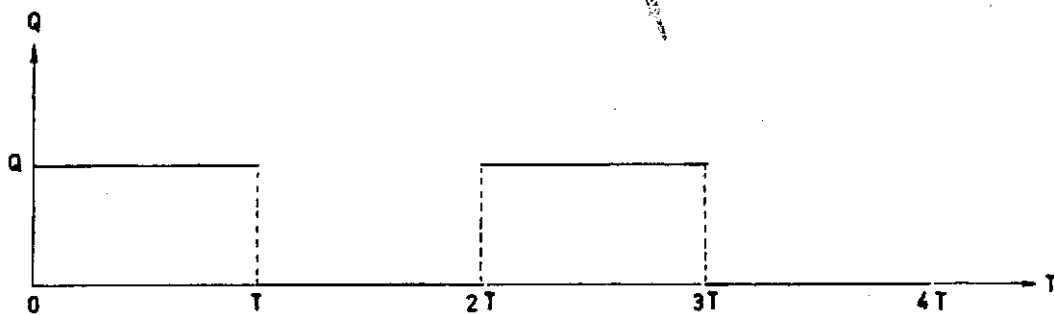
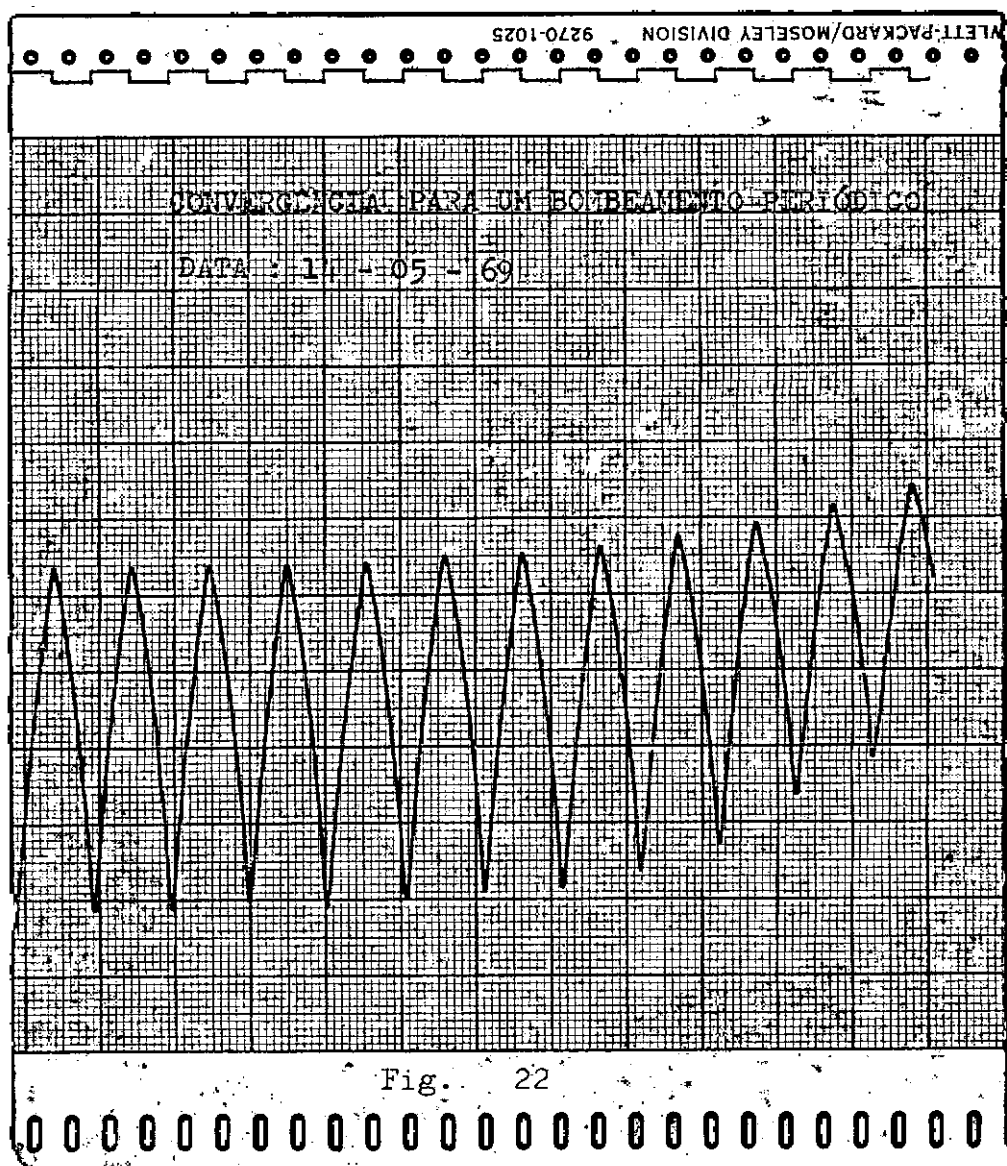
Os períodos e vazões foram escolhidos de acordo com as limitações da aparelhagem que trataremos a seguir.

O valor das alturas para $T=0$ equivale àquela encontrado em regime permanente para uma vazão igual à metade da vazão que se considera.

3.8 - Limitações do equipamento

Entre as dificuldades advindas do trabalho, ficamos limitados naturalmente no tocante à manutenção das variáveis período e vazão.

Fomos obrigados a tomar períodos múltiplos de 5, por ser de mais eficaz acompanhamento visual no cronômetro, já que é muito difícil manter-se divisões com outro tipo de fracionamento. A bomba B tinha sua curva de vazão alterada para bombeamentos muito longos, o que nos levou a limitar o pe-



ríodo máximo em 40 s. Esta alteração interna era acrescida pela variação da tensão da rede de alimentação, que chegava a mais de 5 volts na saída, o que, como podemos observar pela figura (37) no Anexo, chega a corresponder, principalmente para baixas tensões, a uma variação de vazão muito grande, de sorte que o controle através do voltímetro, colocado na saída do transformador da bomba, tinha que ser constante e cuidadosa.

Se observarmos novamente a figura (37), vemos que a vazão é limitada inferiormente pela tensão de 45 v onde ela tem o valor de $0,025 \text{ cm}^3/\text{s}$. Abaixo deste valor ela não funciona.

O valor da vazão é limitado superiormente pelo débito máximo que o meio admite sem que o nível mínimo seja menor que 0, para evitar incorrer em erros de leitura do nível máximo.

3.9 - Fluido utilizado

Finalmente, como líquido a utilizar, escolhemos a água filtrada, pois seria portadora de uma percentagem mínima de impurezas, que facultaria a condutividade, permitindo o uso da ponta elétrica.

IV : RESULTADOS

4.1 - Apresentação tabular dos resultados

Os valores obtidos, foram tabulados obedecendo aos seguintes princípios:

- a) O meio 1, de permeabilidade k_1 , será sempre o meio situado a montante, sujeito diretamente ao nível estático. Consequentemente, o meio 2, de permeabilidade k_2 será o situado a jusante, afetado diretamente pelo bombeamento periódico. figura (21).
- b) As tabelas serão apresentadas por vazão tomada, variando-se o período, à exceção do primeiro valor que será o correspondente à vazão média.
- c) Nelas também estarão representados os valores de ΔH que equivalem à diferença $H_{\max} - H_{\min}$

Unidades

$Q = \text{l/s}$ $H_{\max}, H_{\min}, \Delta H = \text{cm.}$

$T = \text{s}$

Para uma comparação com a teoria foram calculados - valores pela fórmula de Dupuit (2-12), apresentados na tabela (35) para $K = k_{\min} = 0,95 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$.

4.2 - Apresentação gráfica do resultado

Após as tabelas apresentamos os resultados dispostos em gráfico.

Para representar as variáveis escolhidas, utilizamos o gráfico relação $\text{vasão} \times \Delta H$, por dispor de mais pontos o que viria a facilitar um ajuste.

Os gráficos encontram distribuídos da figura(24) - até afigura (28), inclusive.

TABELA 5

VALORES ENCONTRADOS PARA $K_1 < K_2$

| VASAO | PERIODO | H MAX | H MIN | ΔH |
|-------|---------|-------|-------|------------|
| 0.015 | 0 | 29.20 | 25.20 | 0.00 |
| 0.030 | 5 | 25.20 | 24.85 | 0.35 |
| 0.030 | 10 | 25.20 | 24.50 | 0.70 |
| 0.030 | 15 | 25.10 | 24.10 | 1.00 |
| 0.030 | 20 | 25.20 | 23.80 | 1.40 |
| 0.030 | 25 | 25.30 | 23.60 | 1.70 |
| 0.030 | 30 | 25.40 | 23.30 | 2.10 |
| 0.030 | 40 | 25.75 | 23.00 | 2.75 |

TABELA 6

VALORES ENCONTRADOS PARA $K_1 < K_2$

| VASAO | PERIODO | H MAX | H MIN | ΔH |
|-------|---------|-------|-------|------------|
| 0.017 | 0 | 29.20 | 24.40 | 0.00 |
| 0.035 | 5 | 24.70 | 24.30 | 0.40 |
| 0.035 | 10 | 24.30 | 23.50 | 0.80 |
| 0.035 | 15 | 24.45 | 23.25 | 1.20 |
| 0.035 | 20 | 24.60 | 23.10 | 1.50 |
| 0.035 | 25 | 24.75 | 22.75 | 2.00 |
| 0.035 | 30 | 24.80 | 22.40 | 2.40 |
| 0.035 | 40 | 25.20 | 22.00 | 3.20 |

TABELA 7

VALORES ENCONTRADOS PARA $K1 < K2$

| VASAO | PERIODO | H MAX | H MIN | ΔH |
|-------|---------|-------|-------|------------|
| 0.020 | 0 | 29.20 | 23.30 | 0.00 |
| 0.040 | 5 | 24.00 | 23.60 | 0.40 |
| 0.040 | 10 | 23.90 | 23.00 | 0.90 |
| 0.040 | 15 | 24.10 | 22.70 | 1.40 |
| 0.040 | 20 | 23.90 | 22.10 | 1.80 |
| 0.040 | 25 | 24.40 | 22.10 | 2.30 |
| 0.040 | 30 | 24.20 | 21.40 | 2.80 |
| 0.040 | 40 | 24.80 | 21.10 | 3.70 |

TABELA 8

VALORES ENCONTRADOS PARA $K_1 \leq K_2$

| VASAO | PERIODO | H MAX | H MIN | ΔH |
|-------|---------|-------|-------|------------|
| 0.022 | 0 | 29.20 | 22.60 | 0.00 |
| 0.045 | 5 | 22.80 | 22.30 | 0.50 |
| 0.045 | 10 | 22.90 | 21.90 | 1.00 |
| 0.045 | 15 | 22.90 | 21.40 | 1.50 |
| 0.045 | 20 | 23.00 | 21.00 | 2.00 |
| 0.045 | 25 | 23.20 | 20.70 | 2.50 |
| 0.045 | 30 | 23.40 | 20.40 | 3.00 |
| 0.045 | 40 | 23.90 | 19.90 | 4.00 |

TABELA 9

VALORES ENCONTRADOS PARA $K_1 < K_2$

| VASAO | PERIODO | H MAX | H MIN | ΔH |
|-------|---------|-------|-------|------------|
| 0.025 | 0 | 29.20 | 21.60 | 0.00 |
| 0.050 | 5 | 22.25 | 21.70 | 0.55 |
| 0.050 | 10 | 22.20 | 21.10 | 1.10 |
| 0.050 | 15 | 22.20 | 20.55 | 1.65 |
| 0.050 | 20 | 22.40 | 20.20 | 2.20 |
| 0.050 | 25 | 22.60 | 19.80 | 2.80 |
| 0.050 | 30 | 22.90 | 19.60 | 3.30 |
| 0.050 | 40 | 23.30 | 18.80 | 4.50 |

TABELA 10

VALORES ENCONTRADOS PARA $K1 < K2$

| VASAO | PERIODO | H MAX | H MIN | ΔH |
|-------|---------|-------|-------|------------|
| 0.027 | 0 | 29.20 | 20.80 | 0.00 |
| 0.055 | 5 | 21.00 | 20.40 | 0.60 |
| 0.055 | 10 | 21.05 | 19.85 | 1.20 |
| 0.055 | 15 | 21.20 | 19.40 | 1.80 |
| 0.055 | 20 | 21.40 | 19.00 | 2.40 |
| 0.055 | 25 | 21.80 | 18.70 | 3.10 |
| 0.055 | 30 | 22.00 | 18.30 | 3.70 |
| 0.055 | 40 | 22.40 | 17.50 | 4.90 |

TABELA 11

VALORES ENCONTRADOS PARA $K_1 < K_2$

| VASAO | PERIODO | H MAX | H MIN | ΔH |
|-------|---------|-------|-------|------------|
| 0.030 | 0 | 29.20 | 19.30 | 0.00 |
| 0.060 | 5 | 20.15 | 19.45 | 0.70 |
| 0.060 | 10 | 20.30 | 18.90 | 1.40 |
| 0.060 | 15 | 20.40 | 18.30 | 2.10 |
| 0.060 | 20 | 20.60 | 17.80 | 2.80 |
| 0.060 | 25 | 20.80 | 17.30 | 3.50 |
| 0.060 | 30 | 21.00 | 16.80 | 4.20 |
| 0.060 | 40 | 21.70 | 16.10 | 5.60 |

TABELA 12

VALORES ENCONTRADOS PARA $K_1 < K_2$

| VASAO | PERIODO | H MAX | H MIN | ΔH |
|-------|---------|-------|-------|------------|
| 0.032 | 0 | 29.20 | 19.00 | 0.00 |
| 0.065 | 5 | 19.90 | 19.15 | 0.75 |
| 0.065 | 10 | 19.75 | 18.20 | 1.55 |
| 0.065 | 15 | 19.40 | 17.20 | 2.20 |
| 0.065 | 20 | 19.80 | 16.80 | 3.00 |
| 0.065 | 25 | 20.00 | 16.20 | 3.80 |
| 0.065 | 30 | 20.10 | 15.50 | 4.60 |
| 0.065 | 40 | 21.00 | 15.00 | 6.00 |

TABELA 13

VALORES ENCONTRADOS PARA $K1 < K2$

| VASAO | PERIODO | H MAX | H MIN | ΔH |
|-------|---------|-------|-------|------------|
| 0.035 | 0 | 29.20 | 17.90 | 0.00 |
| 0.070 | 5 | 18.50 | 17.70 | 0.80 |
| 0.070 | 10 | 18.50 | 16.90 | 1.60 |
| 0.070 | 15 | 18.30 | 15.90 | 2.40 |
| 0.070 | 20 | 18.70 | 15.40 | 3.30 |
| 0.070 | 25 | 19.10 | 15.00 | 4.10 |
| 0.070 | 30 | 19.30 | 14.40 | 4.90 |
| 0.070 | 40 | 19.90 | 13.40 | 6.50 |

TABELA 14

VALORES ENCONTRADOS PARA $K_1 < K_2$

| VASAO | PERIODO | H MAX | H MIN | ΔH |
|-------|---------|-------|-------|------------|
| 0.037 | 0 | 29.20 | 16.40 | 0.00 |
| 0.075 | 5 | 16.90 | 16.05 | 0.85 |
| 0.075 | 10 | 16.80 | 15.10 | 1.70 |
| 0.075 | 15 | 17.00 | 14.40 | 2.60 |
| 0.075 | 20 | 17.00 | 13.60 | 3.40 |
| 0.075 | 25 | 17.40 | 13.10 | 4.30 |
| 0.075 | 30 | 18.20 | 13.00 | 5.20 |
| 0.075 | 40 | 18.70 | 11.80 | 6.90 |

TABELA 15

VALORES ENCONTRADOS PARA $K1 < K2$

| VASAO | PERIODO | H MAX | H MIN | ΔH |
|-------|---------|-------|-------|------------|
| 0.040 | 0 | 29.20 | 15.00 | 0.00 |
| 0.080 | 5 | 15.80 | 14.90 | 0.90 |
| 0.080 | 10 | 15.20 | 13.40 | 1.80 |
| 0.080 | 15 | 15.50 | 12.80 | 2.70 |
| 0.080 | 20 | 15.80 | 12.20 | 3.60 |
| 0.080 | 25 | 16.30 | 11.80 | 4.50 |
| 0.080 | 30 | 16.00 | 10.50 | 5.50 |
| 0.080 | 40 | 16.80 | 9.30 | 7.50 |

TABELA 16

VALORES ENCONTRADOS PARA $K_1 < K_2$

| VASAO | PERIODO | H MAX | H MIN | ΔH |
|-------|---------|-------|-------|------------|
| 0.042 | 0 | 29.20 | 12.70 | 0.00 |
| 0.085 | 5 | 12.80 | 11.85 | 0.95 |
| 0.085 | 10 | 12.80 | 10.80 | 2.00 |
| 0.085 | 15 | 13.10 | 10.00 | 3.10 |
| 0.085 | 20 | 13.30 | 9.30 | 4.00 |
| 0.085 | 25 | 13.60 | 8.60 | 5.00 |
| 0.085 | 30 | 13.90 | 7.90 | 6.00 |
| 0.085 | 40 | 14.85 | 6.60 | 8.25 |

TABELA 17

VALORES ENCONTRADOS PARA $K1 < K2$

| VASAO | PERIODO | H MAX | H MIN | ΔH |
|-------|---------|-------|-------|------------|
| 0.045 | 0 | 29.20 | 11.00 | 0.00 |
| 0.090 | 5 | 10.20 | 9.20 | 1.00 |
| 0.090 | 10 | 10.30 | 8.20 | 2.10 |
| 0.090 | 15 | 10.40 | 7.20 | 3.20 |
| 0.090 | 20 | 10.80 | 6.40 | 4.40 |
| 0.090 | 25 | 11.35 | 6.00 | 5.35 |
| 0.090 | 30 | 12.15 | 5.60 | 6.55 |
| 0.090 | 40 | 12.60 | 3.80 | 8.80 |

TABELA 18

VALORES ENCONTRADOS PARA $K_1 < K_2$

| VASAO | PERIODO | H MAX | H MIN | ΔH |
|-------|---------|-------|-------|------------|
| 0.047 | 0 | 29.20 | 9.30 | 0.00 |
| 0.095 | 5 | 9.50 | 8.40 | 1.10 |
| 0.095 | 10 | 9.60 | 7.40 | 2.20 |
| 0.095 | 15 | 8.70 | 5.40 | 3.30 |
| 0.095 | 20 | 8.10 | 3.60 | 4.50 |
| 0.095 | 25 | 7.80 | 2.20 | 5.60 |
| 0.095 | 30 | - | - | - |
| 0.095 | 40 | - | - | - |

TABELA 19

VALORES ENCONTRADOS PARA $K_1 < K_2$

| VASAO | PERIODO | H MAX | I MIN | ΔH |
|-------|---------|-------|-------|------------|
| 0.050 | 0 | 29.20 | 7.20 | 0.00 |
| 0.100 | 5 | 7.30 | 6.20 | 1.10 |
| 0.100 | 10 | 6.40 | 4.00 | 2.40 |
| 0.100 | 15 | 5.40 | 1.90 | 3.50 |
| 0.100 | 20 | - | - | - |
| 0.100 | 25 | - | - | - |
| 0.100 | 30 | - | - | - |
| 0.100 | 40 | - | - | - |

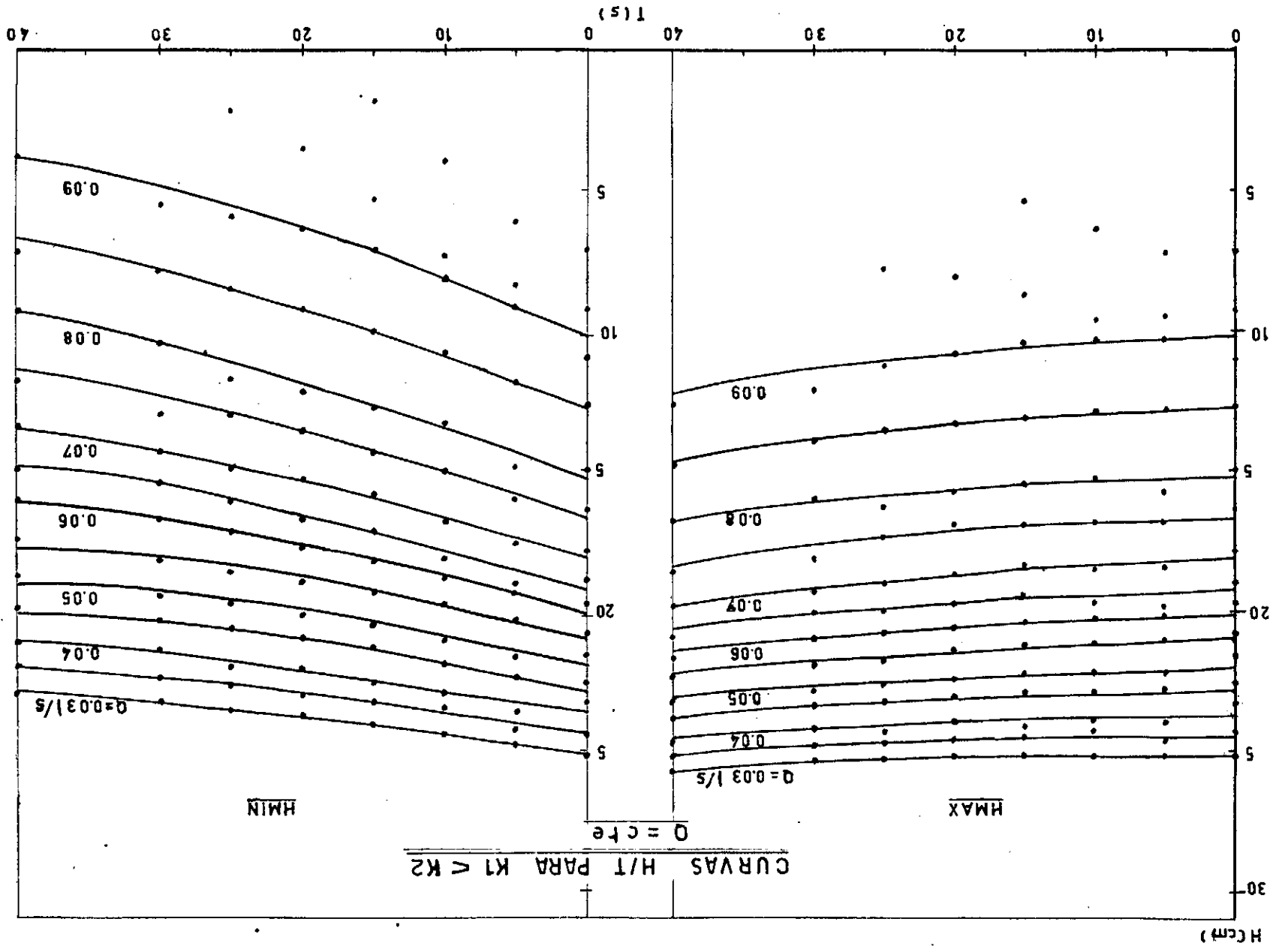


Figura 24.

TABELA 20

VALORES ENCONTRADOS PARA $K_1 > K_2$

| VASAO | PERIODO | H MAX | H MIN | ΔH |
|-------|---------|-------|-------|------------|
| 0.015 | 0 | 29.20 | 25.45 | 0.00 |
| 0.030 | 5 | 25.60 | 25.40 | 0.20 |
| 0.030 | 10 | 25.50 | 24.90 | 0.60 |
| 0.030 | 15 | 25.30 | 24.30 | 1.00 |
| 0.030 | 20 | 25.40 | 24.00 | 1.40 |
| 0.030 | 25 | 25.50 | 23.70 | 1.80 |
| 0.030 | 30 | 25.60 | 23.40 | 2.20 |
| 0.030 | 40 | 25.80 | 22.50 | 3.30 |

TABELA 21

VALORES ENCONTRADOS PARA $K_1 > K_2$

| VASAO | PERIODO | H MAX | H MIN | ΔH |
|-------|---------|-------|-------|------------|
| 0.017 | 0 | 29.20 | 24.80 | 0.00 |
| 0.035 | 5 | 25.00 | 24.60 | 0.40 |
| 0.035 | 10 | 24.80 | 24.00 | 0.80 |
| 0.035 | 15 | 24.60 | 23.40 | 1.20 |
| 0.035 | 20 | 24.70 | 23.10 | 1.60 |
| 0.035 | 25 | 24.80 | 22.80 | 2.00 |
| 0.035 | 30 | 24.90 | 22.40 | 2.50 |
| 0.035 | 40 | 25.15 | 21.90 | 3.25 |

TABELA 22

VALORES ENCONTRADOS PARA $K_1 > K_2$

| VASAO | PERIODO | H MAX | H MIN | ΔH |
|-------|---------|-------|-------|------------|
| 0.020 | 0 | 29.20 | 24.00 | 0.00 |
| 0.040 | 5 | 24.30 | 23.90 | 0.40 |
| 0.040 | 10 | 24.20 | 23.30 | 0.90 |
| 0.040 | 15 | 24.00 | 22.70 | 1.30 |
| 0.040 | 20 | 24.20 | 22.40 | 1.80 |
| 0.040 | 25 | 24.30 | 22.00 | 2.30 |
| 0.040 | 30 | 24.30 | 21.55 | 2.75 |
| 0.040 | 40 | 24.50 | 20.80 | 3.70 |

TABELA 23

VALORES ENCONTRADOS PARA $K_1 > K_2$

| VASAO | PERIODO | H MAX | H MIN | ΔH |
|-------|---------|-------|-------|------------|
| 0.022 | 0 | 29.20 | 23.20 | 0.00 |
| 0.045 | 5 | 23.80 | 23.30 | 0.50 |
| 0.045 | 10 | 23.50 | 22.60 | 0.90 |
| 0.045 | 15 | 23.40 | 21.90 | 1.50 |
| 0.045 | 20 | 23.40 | 21.40 | 2.00 |
| 0.045 | 25 | 23.30 | 20.80 | 2.50 |
| 0.045 | 30 | 23.40 | 20.30 | 3.10 |
| 0.045 | 40 | 24.00 | 19.50 | 4.50 |

TABELA 24

VALORES ENCONTRADOS PARA $K_1 > K_2$

| VASAO | PERIODO | H MAX | H MIN | ΔH |
|-------|---------|-------|-------|------------|
| 0.025 | 0 | 29.20 | 22.30 | 0.00 |
| 0.050 | 5 | 22.60 | 22.00 | 0.60 |
| 0.050 | 10 | 22.40 | 21.30 | 1.10 |
| 0.050 | 15 | 22.50 | 20.90 | 1.60 |
| 0.050 | 20 | 22.50 | 20.30 | 2.20 |
| 0.050 | 25 | 22.70 | 19.80 | 2.90 |
| 0.050 | 30 | 22.90 | 19.30 | 3.60 |
| 0.050 | 40 | 23.40 | 18.70 | 4.70 |

TABELA 25

VALORES ENCONTRADOS PARA $K_1 > K_2$

| VASAO | PERIODO | H MAX | H MIN | ΔH |
|-------|---------|-------|-------|------------|
| 0.027 | 0 | 29.20 | 21.50 | 0.00 |
| 0.055 | 5 | 21.60 | 20.95 | 0.65 |
| 0.055 | 10 | 21.40 | 20.00 | 1.40 |
| 0.055 | 15 | 21.30 | 19.30 | 2.00 |
| 0.055 | 20 | 21.75 | 19.15 | 2.60 |
| 0.055 | 25 | 21.90 | 18.60 | 3.30 |
| 0.055 | 30 | 22.05 | 18.15 | 3.90 |
| 0.055 | 40 | 22.50 | 17.20 | 5.30 |

TABELA 26

VALORES ENCONTRADOS PARA $K_1 > K_2$

| VASAO | PERIODO | H MAX | H MIN | ΔH |
|-------|---------|-------|-------|------------|
| 0.030 | 0 | 29.20 | 20.30 | 0.00 |
| 0.060 | 5 | 20.50 | 19.80 | 0.70 |
| 0.060 | 10 | 20.40 | 19.00 | 1.40 |
| 0.060 | 15 | 20.50 | 18.40 | 2.10 |
| 0.060 | 20 | 20.60 | 17.70 | 2.90 |
| 0.060 | 25 | 20.80 | 17.10 | 3.70 |
| 0.060 | 30 | 21.00 | 16.60 | 4.40 |
| 0.060 | 40 | 21.60 | 15.80 | 5.80 |

TABELA 27

VALORES ENCONTRADOS PARA $K_1 > K_2$

| VASAO | PERIODO | H MAX | H MIN | ΔH |
|-------|---------|-------|-------|------------|
| 0.032 | 0 | 29.20 | 18.60 | 0.00 |
| 0.065 | 5 | 18.90 | 18.10 | 0.80 |
| 0.065 | 10 | 19.00 | 17.40 | 1.60 |
| 0.065 | 15 | 18.80 | 16.40 | 2.40 |
| 0.065 | 20 | 19.10 | 15.90 | 3.20 |
| 0.065 | 25 | 19.20 | 15.20 | 4.00 |
| 0.065 | 30 | 19.70 | 14.90 | 4.80 |
| 0.065 | 40 | 20.20 | 13.80 | 6.40 |

TABELA 28

VALORES ENCONTRADOS PARA $K_1 > K_2$

| VASAO | PERIODO | H MAX | H MIN | ΔH |
|-------|---------|-------|-------|------------|
| 0.035 | 0 | 29.20 | 17.50 | 0.00 |
| 0.070 | 5 | 17.80 | 16.90 | 0.90 |
| 0.070 | 10 | 18.00 | 16.20 | 1.80 |
| 0.070 | 15 | 17.90 | 15.20 | 2.70 |
| 0.070 | 20 | 18.10 | 14.50 | 3.60 |
| 0.070 | 25 | 18.30 | 13.90 | 4.40 |
| 0.070 | 30 | 18.60 | 13.30 | 5.30 |
| 0.070 | 40 | 19.30 | 12.20 | 7.10 |

TABELA 29

VALORES ENCONTRADOS PARA $K_1 > K_2$

| VASAO | PERIODO | H MAX | H MIN | ΔH |
|-------|---------|-------|-------|------------|
| 0.037 | 0 | 29.20 | 16.50 | 0.00 |
| 0.075 | 5 | 16.60 | 15.70 | 0.90 |
| 0.075 | 10 | 16.70 | 14.80 | 1.90 |
| 0.075 | 15 | 16.75 | 13.85 | 2.90 |
| 0.075 | 20 | 16.90 | 13.10 | 3.80 |
| 0.075 | 25 | 17.10 | 12.40 | 4.70 |
| 0.075 | 30 | 17.30 | 11.70 | 5.60 |
| 0.075 | 40 | 18.00 | 10.55 | 7.45 |

TABELA 30

VALORES ENCONTRADOS PARA $K_1 > K_2$

| VASAO | PERIODO | H MAX | H MIN | ΔH |
|-------|---------|-------|-------|------------|
| 0.040 | 0 | 29.20 | 15.00 | 0.00 |
| 0.080 | 5 | 15.60 | 14.60 | 1.00 |
| 0.080 | 10 | 15.40 | 13.40 | 2.00 |
| 0.080 | 15 | 15.70 | 12.60 | 3.10 |
| 0.080 | 20 | 15.80 | 11.80 | 4.00 |
| 0.080 | 25 | 15.90 | 10.90 | 5.00 |
| 0.080 | 30 | 16.10 | 10.10 | 6.00 |
| 0.080 | 40 | 16.80 | 8.80 | 8.00 |

TABELA 31

VALORES ENCONTRADOS PARA $K_1 > K_2$

| VASAO | PERIODO | H MAX | H MIN | ΔH |
|-------|---------|-------|-------|------------|
| 0.042 | 0 | 29.20 | 13.80 | 0.00 |
| 0.085 | 5 | 14.60 | 13.50 | 1.10 |
| 0.085 | 10 | 14.30 | 12.10 | 2.20 |
| 0.085 | 15 | 14.50 | 11.20 | 3.30 |
| 0.085 | 20 | 14.70 | 10.30 | 4.40 |
| 0.085 | 25 | 15.00 | 9.60 | 5.40 |
| 0.085 | 30 | 15.30 | 8.80 | 6.50 |
| 0.085 | 40 | 15.70 | 6.90 | 8.80 |

TABELA 32

VALORES ENCONTRADOS PARA $K_1 > K_2$

| VASAO | PERICDO | H MAX | H MIN | ΔH |
|-------|---------|-------|-------|------------|
| 0.045 | 0 | 29.20 | 12.00 | 0.00 |
| 0.090 | 5 | 12.60 | 11.40 | 1.20 |
| 0.090 | 10 | 12.50 | 10.10 | 2.40 |
| 0.090 | 15 | 13.00 | 9.50 | 3.50 |
| 0.090 | 20 | 13.40 | 8.80 | 4.60 |
| 0.090 | 25 | 13.80 | 8.10 | 5.70 |
| 0.090 | 30 | 14.00 | 7.20 | 6.80 |
| 0.090 | 40 | 14.60 | 5.60 | 9.00 |

TABELA 33

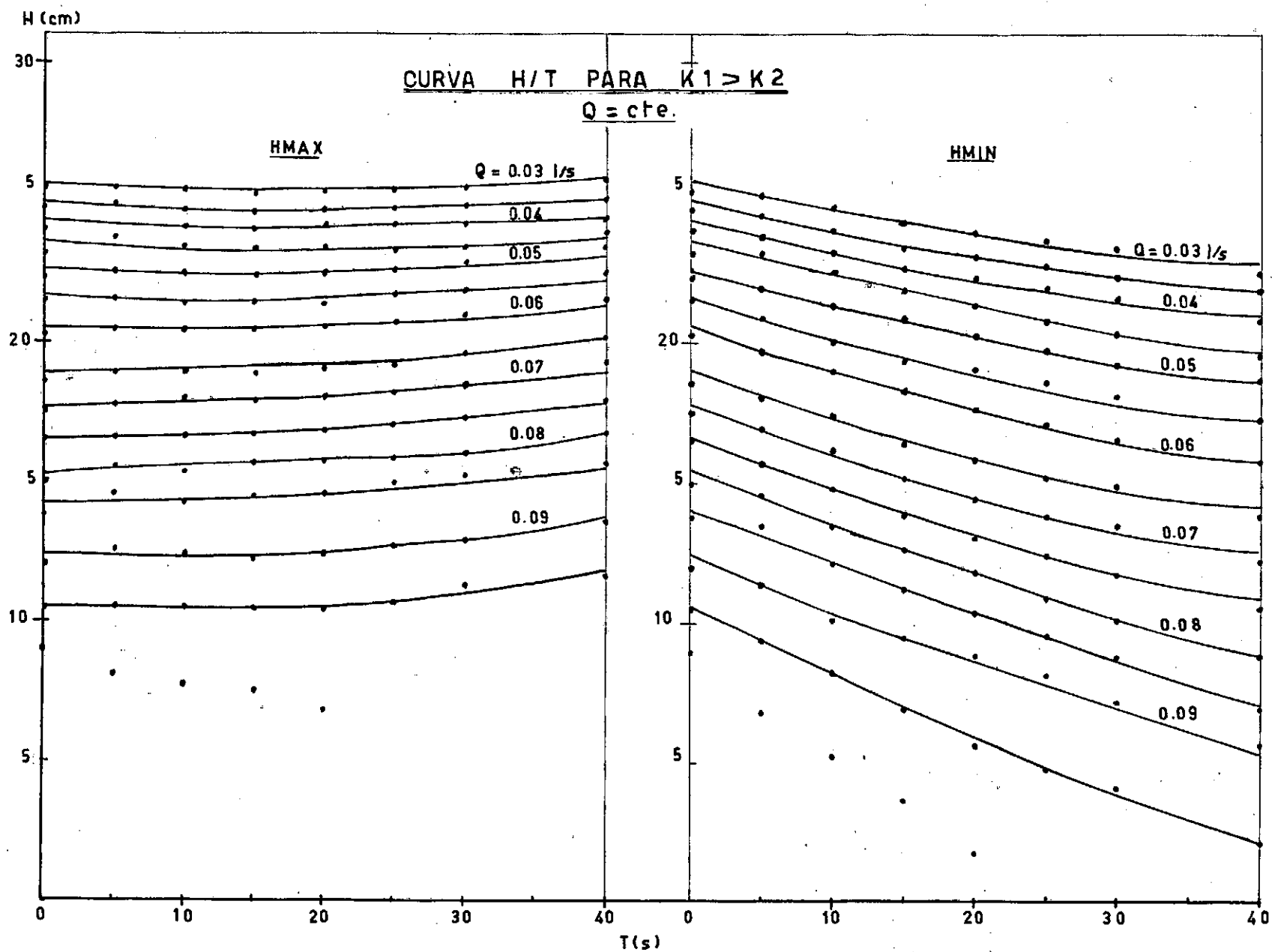
VALORES ENCONTRADOS PARA $K_1 > K_2$

| VASAO | PERIODO | H MAX | H MIN | ΔH |
|-------|---------|-------|-------|------------|
| 0.047 | 0 | 29.20 | 10.50 | 0.00 |
| 0.095 | 5 | 10.60 | 9.40 | 1.20 |
| 0.095 | 10 | 10.60 | 8.20 | 2.40 |
| 0.095 | 15 | 10.50 | 6.90 | 3.60 |
| 0.095 | 20 | 10.40 | 5.60 | 4.80 |
| 0.095 | 25 | 10.70 | 4.80 | 5.90 |
| 0.095 | 30 | 11.30 | 4.10 | 7.20 |
| 0.095 | 40 | 11.70 | 2.10 | 9.60 |

TABELA 34

VALORES ENCONTRADOS PARA $K_1 > K_2$

| VASAO | PERIODO | H MAX | H MIN | ΔH |
|-------|---------|-------|-------|------------|
| 0.050 | 0 | 29.20 | 9.00 | 0.00 |
| 0.100 | 5 | 8.00 | 6.70 | 1.30 |
| 0.100 | 10 | 7.80 | 5.20 | 2.60 |
| 0.100 | 15 | 7.60 | 3.70 | 3.90 |
| 0.100 | 20 | 6.80 | 1.80 | 5.00 |
| 0.100 | 25 | - | - | - |
| 0.100 | 30 | - | - | - |
| 0.100 | 40 | - | - | - |



$\Delta H(\text{cm})$

GRÁFICO $\Delta H \times Q$ PARA $K1 < K2$
ajuste dos pontos a retas
 $T = \text{cte.}$

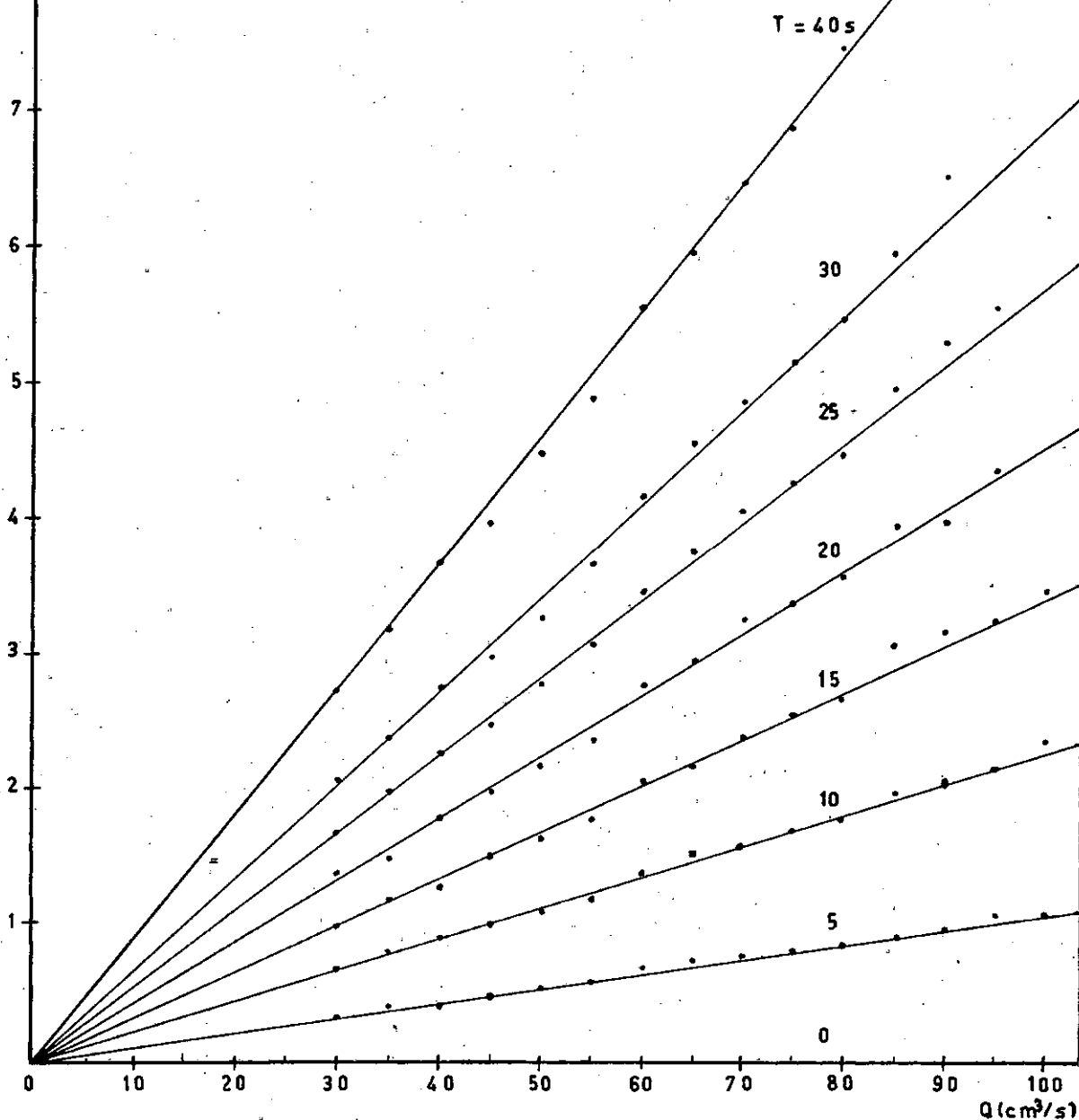


Figura 26.

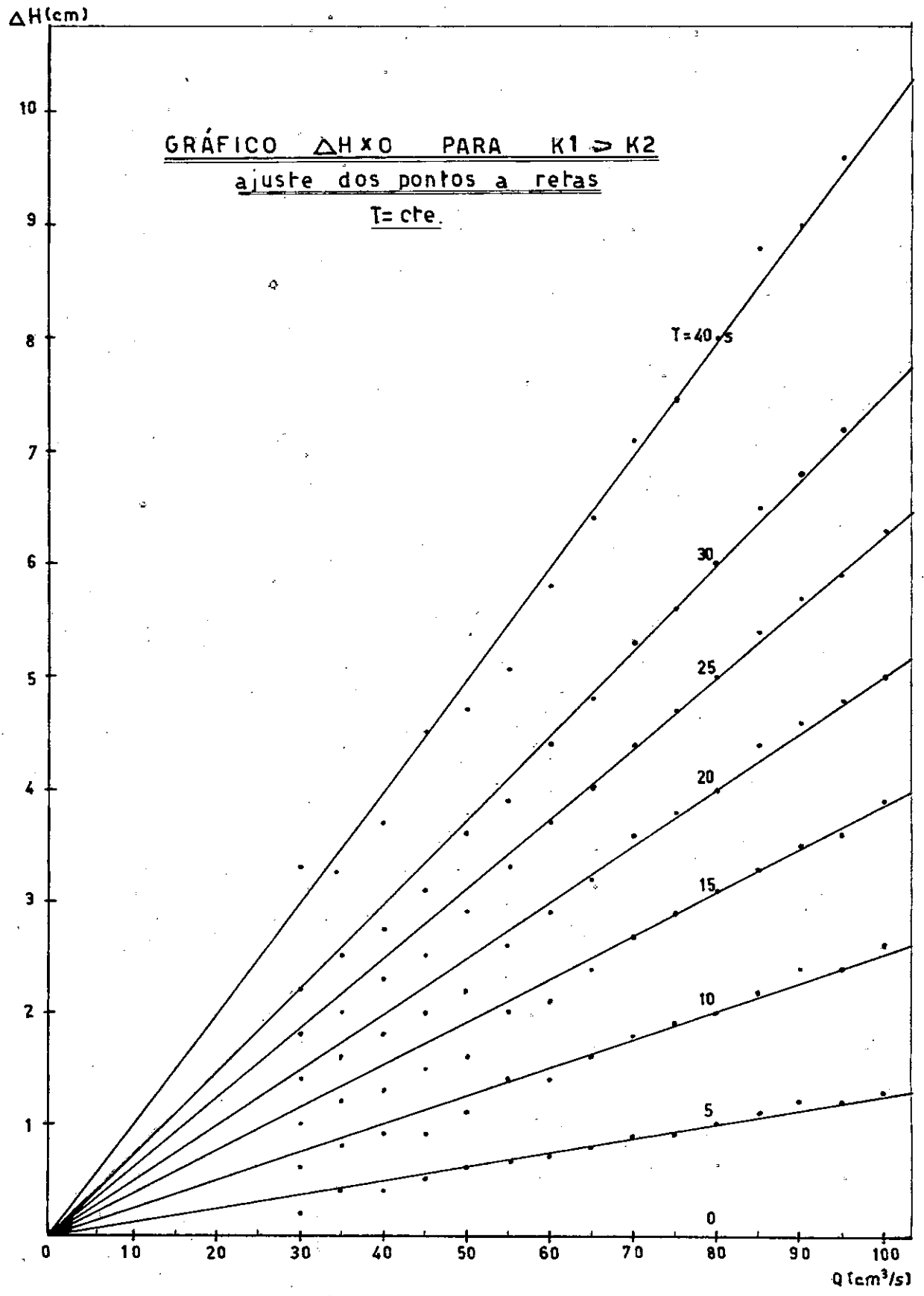


Figura 27.

DOCUMENTO.
ILEGIVEL

TABELA 35

VALORES DAS VASOES PARA A CURVA DE DUPUIT

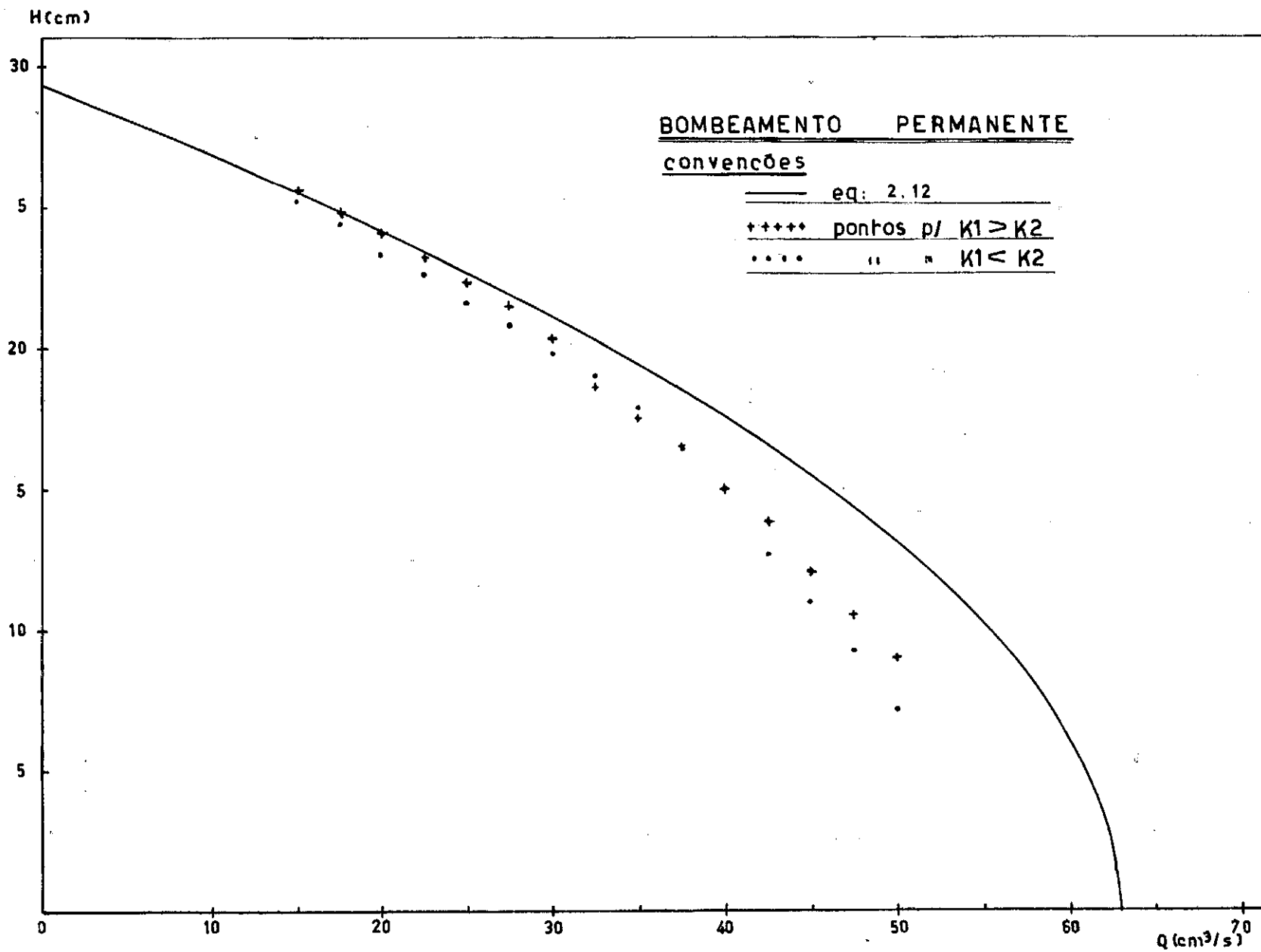
| H 1 | H 2 | VASAO |
|-------|-------|-------|
| 29.20 | 29.20 | 0.00 |
| 29.20 | 29.00 | 0.85 |
| 29.20 | 28.00 | 5.05 |
| 29.20 | 27.00 | 9.09 |
| 29.20 | 26.00 | 12.99 |
| 29.20 | 25.00 | 16.74 |
| 29.20 | 24.00 | 20.35 |
| 29.20 | 23.00 | 23.81 |
| 29.20 | 22.00 | 27.12 |
| 29.20 | 21.00 | 30.28 |
| 29.20 | 20.00 | 33.30 |
| 29.20 | 19.00 | 36.17 |
| 29.20 | 18.00 | 38.89 |
| 29.20 | 17.00 | 41.46 |
| 29.20 | 16.00 | 43.89 |
| 29.20 | 15.00 | 46.17 |
| 29.20 | 14.00 | 48.31 |
| 29.20 | 13.00 | 50.29 |
| 29.20 | 12.00 | 52.13 |

DOCUMENTO
ILEGIVEL

81.

| 4 1 | H 2 | VASAO |
|-------|-------|-------|
| 29.20 | 11.00 | 53.83 |
| 29.20 | 10.00 | 55.37 |
| 29.20 | 9.00 | 56.77 |
| 29.20 | 8.00 | 58.02 |
| 29.20 | 7.00 | 59.12 |
| 29.20 | 6.00 | 60.03 |
| 29.20 | 5.00 | 60.89 |
| 29.20 | 4.00 | 61.55 |
| 29.20 | 3.00 | 62.07 |
| 29.20 | 2.00 | 62.43 |
| 29.20 | 1.00 | 62.65 |
| 29.20 | 0.00 | 62.73 |

Figura 28.



V - DISCUSSÃO5.1 - Observações no meio poroso.

Durante os ensaios foram feitos as seguintes observações no meio poroso:

- a) Para as vazões de até 0.07 l/s, a perturbação atravessa o meio nos períodos de 10 e 15 s. Acima deste valor, isto - ocorre nos períodos de 10 s.
- b) O bombeamento pouco influencia o perfil da superfície livre no meio 1, considerando-se as figuras (29) e (30). A variação observável ocorre, praticamente no meio 2.
- c) A superfície de surgência altera-se muito pouco durante um bombeamento, para o mesmo período e vazão.

5.2 - Observações nos resultados

Após a leitura dos valores e seu lançamento em gráfico, foi constatado o seguinte:

- a) A variação dos valores máximos eram menores que a dos mínimos, em relação aos valores precedentes

$$\Delta H_{\max, 10-5} < \Delta H_{\min, 10-5}$$

- b) Os valores máximos incrementam de valores mais elevados em relação ao anterior, ao passo que os mínimos decrementam - menor rapidamente.

$$\Delta H_{\max, 10-5} < \Delta H_{\max, 15-10}$$

$$\Delta H_{\min, 10-5} > \Delta H_{\min, 15-10}$$

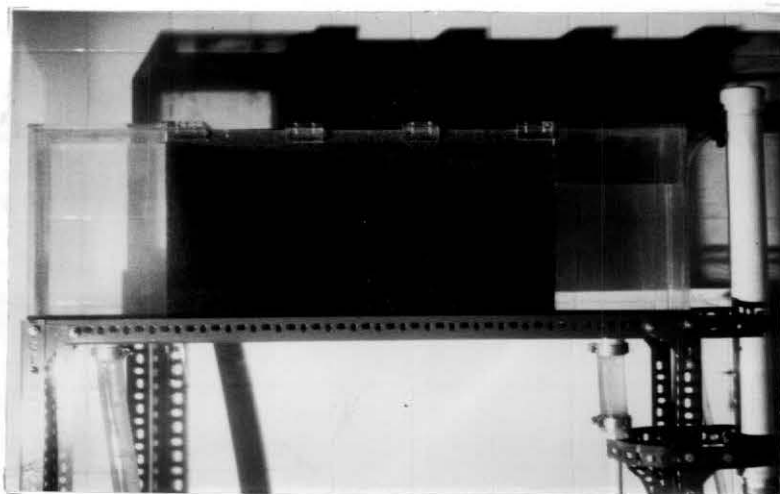


Figura 29 - Nível máximo de um
bombeamento periódico.

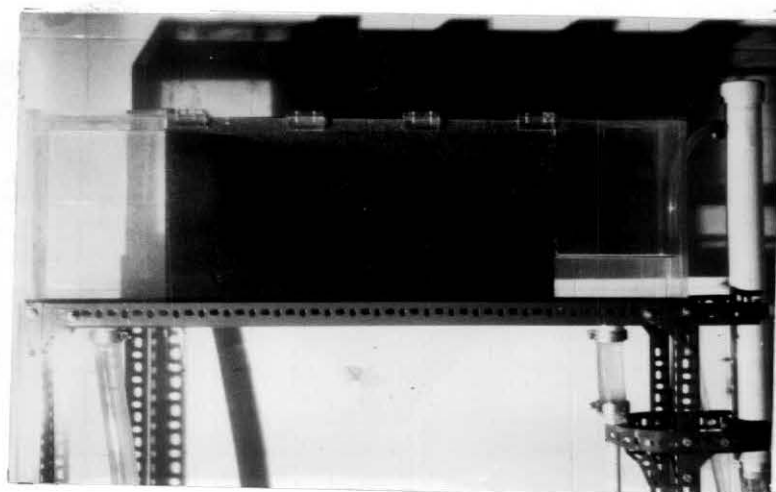


Figura 30 - Nível mínimo de um
bombeamento periódico.

- c) Os níveis máximos, em grande parte dos casos, decrescem do bombeamento em período de 5s para o de 10s para, posteriormente, subir de valor.

$$H_{\max} - 5 > H_{\max} 10$$

- d) A variação da altura (ΔH) considerando-se a vazão - constante, é sensivelmente proporcional ao período.
- e) Esta mesma variação, plotada em função do período constante, acusou uma elevada proporcionalidade para com a vazão.
- f) Os valores adimensionais $\frac{\Delta H_1}{\Delta H_2}$ se distribuíram em - uma faixa, encontrando-se muito misturados, de modo que tornou-se impossível uma individualização.
- g) Os valores encontrados em regime permanente se dispuseram inferiormente à curva de Dupuit para a menor permeabilidade.
- h) Estes valores se mostravam, na maioria das vezes, superiores no caso de $K_1 > K_2$ aos de $K_1 < K_2$.

5.3 - Deduções e comentários

Nos absteremos de comentar fatos ocorridos no interior do meio poroso, pois só possuímos informações visuais, não se dispondo de meios para verificar diversas influências como a da capilaridade, por ficar fora do objetivo da pesquisa.

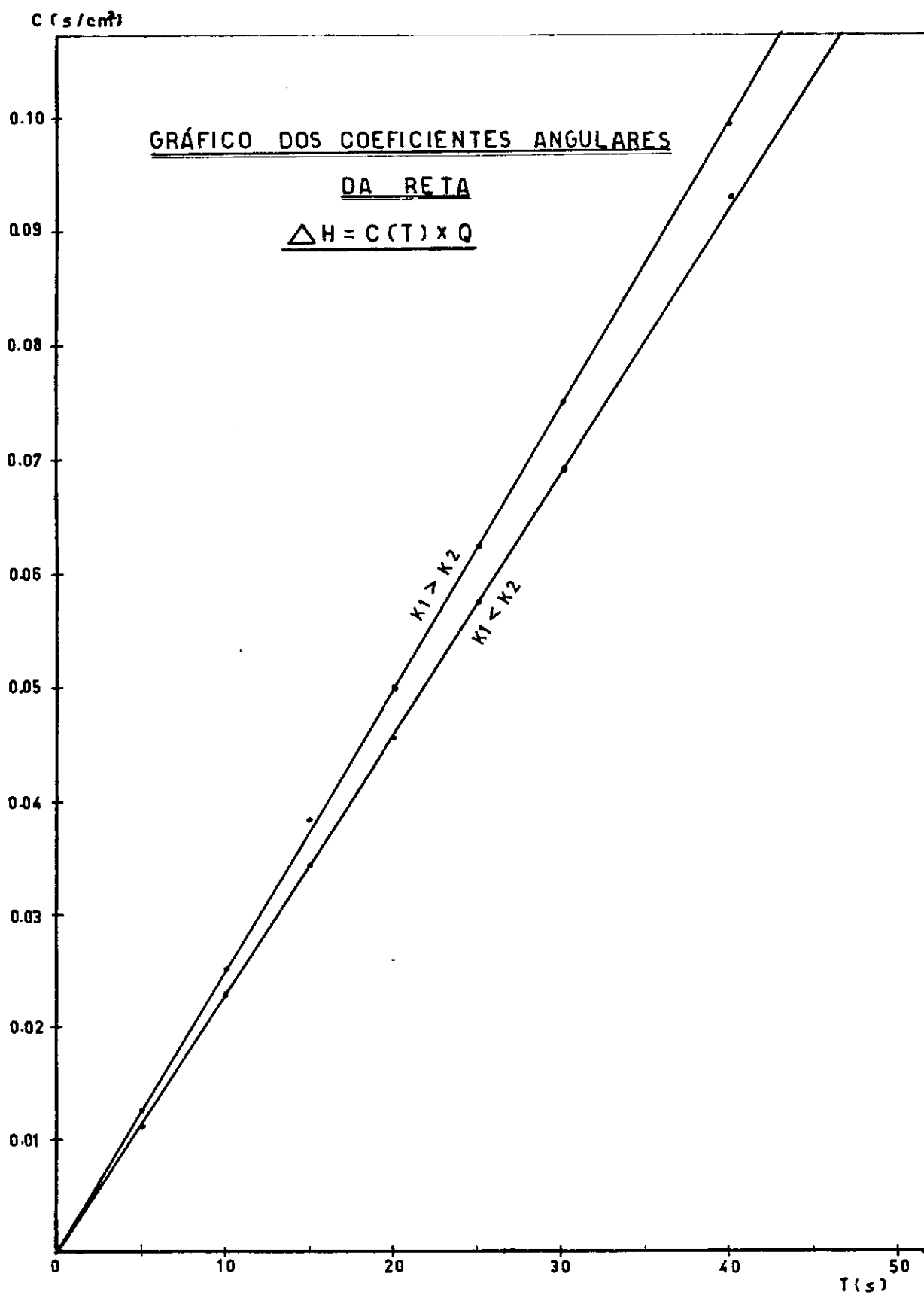


Figura . 31.

No meio poroso, a vasão surgente vai aumentando à medida que cresce o gradiente de potencial do meio ($\Delta H / \Delta L$). Desta maneira, a vasão constante com que é feito o bombeamento, vai encontrando uma oposição cada vez maior do meio, de maneira que o nível mínimo tenderá, logicamente, para períodos muito levados, a um valor constante. Esta estabilização do nível mínimo vai acarretar, por sua vez, um incremento consecutivamente maior no nível máximo, embora deva decrescer posteriormente e tender a este nível também para um limite, que deverá ser igual ao nível de montante.

Referentemente ao item c, pode-se atribuir esta queda de altura máxima ao fato de a perturbação haver atravessado o meio 2 e sua ação se fazer sentir no meio 1 e, posteriormente, no reservatório à montante. Como o nível a montante não varia, os valores recomeçam sua ascensão.

A verificação da proporcionalidade entre os valores encontrados de ΔH a vasão Q e o período T , levou-nos a procurar estabelecer uma função que descrevesse o fenômeno usando ΔH como variável dependente.

Assim, uma vez ajustados os pontos das figuras 26 e 27 a retas, podemos escrever que:

$$\Delta H = C(T) \times Q.$$

Com base nos gráficos calculamos os valores de $C(T)$ para os dois casos, que dispuzemos na tabela (36)

Tabela 36 - Valores dos coeficientes das retas
 $\Delta H = f(Q)$

| T (s) | C (s/cm ²) | |
|----------|------------------------|-------------|
| | $K_1 < K_2$ | $K_1 > K_2$ |
| 5 | 0.0112 | 0.0126 |
| 10 | 0.0230 | 0.0252 |
| 15 | 0.0346 | 0.0387 |
| 20 | 0.0457 | 0.0502 |
| 25 | 0.0575 | 0.0625 |
| 30 | 0.0695 | 0.0752 |
| 40 | 0.0932 | 0.0998 |

Estes valores foram dispostos na figura(31) em função do período e confirmou-nos a linearidade dos valores que foram ajustados a retas dando, às equações seguintes valores, considerando-se:

$$\text{Eq. geral: } \Delta H = C_1 \times T \times Q$$

$$[C_1] = L^{-2}$$

Para nosso caso temos:

$$U. Q = \text{cm}^3/\text{s}$$

$$U. T. = \text{s}$$

$$U. \Delta H = \text{cm}$$

$$UC1 = \text{cm}^{-2}$$

a) Para $K_1 < K_2$

$$\Delta H_1 = 0,00233 \times T \times Q$$

b) Para $K_1 > K_2$

$$\Delta H_2 = 0,00250 \times T \times Q$$

Estas equações justificam o fato dos valores adimensionais $\Delta H_1 / \Delta H_2$ haverm dado misturados e sua variação é facilmente explicável considerando-se os erros de leitura que acarreta uma flutuação em torno da média.

No tocante ao item g, a não padronização do preparo dos meios artificiais, pode chegar a acarretar uma diferença de permeabilidade entre meio e amostra causando o desvio dos pontos da linha de Dupuit, pois não se pode afirmar que ambos possuam exatamente a mesma permeabilidade e sim aproximadamente, acrescido de que as constantes para aplicação da fórmula de Dupuit, haverem sido retiradas de tabelas que retratam condições ideais que, na prática, se confirmam mais ou menos. Além destes fatos, não está totalmente afastada a hipótese de colimação, apesar das precauções tomadas, nem ainda possui-se estudos sobre a variação da permeabilidade com o tempo e temperatura e a relação água/meio poroso artificial. Por outro lado, pode-se verificar que os pontos encontrados podem ser ajustados a um perfil de aproximado ao de Dupuit, para ambos os casos.

VI - CONCLUSÃO

6.1 - Conclusões

Baseados nos fatos expostos no capítulo precedente podemos concluir que:

- 1 - É perfeitamente possível a distinção em um meio heterogêneo dos casos em que uma permeabilidade maior esteja a montante da menor e seu recíproco, com um bombeamento periódico.
- 2 - Meios heterogêneos que possuem a parte permeável sob a ação direta do bombeamento, apresenta valores da variação de altura inferiores ao caso em que esta ação ocorre diretamente sobre o menos permeável.
- 3 - Para o tipo de bombeamento em questão, figura (23), estas variações de altura dispõem-se como função linear do período e da vazão podendo ser escritas em uma forma geral:

$$\Delta H = C \times Q \times T$$

em que C tem a dimensão L^{-2}

- 4 - Para períodos muito elevados, os valores de H tendem para uma constante. A altura máxima converge para o valor do nível estático à montante enquanto que a mínima converge para o equivalente ao alcançado pela vazão em regime permanente.

A figura (32) ilustra está afirmativa.

GRÁFICO PROVÁVEL PARA T MUITO GRANDE

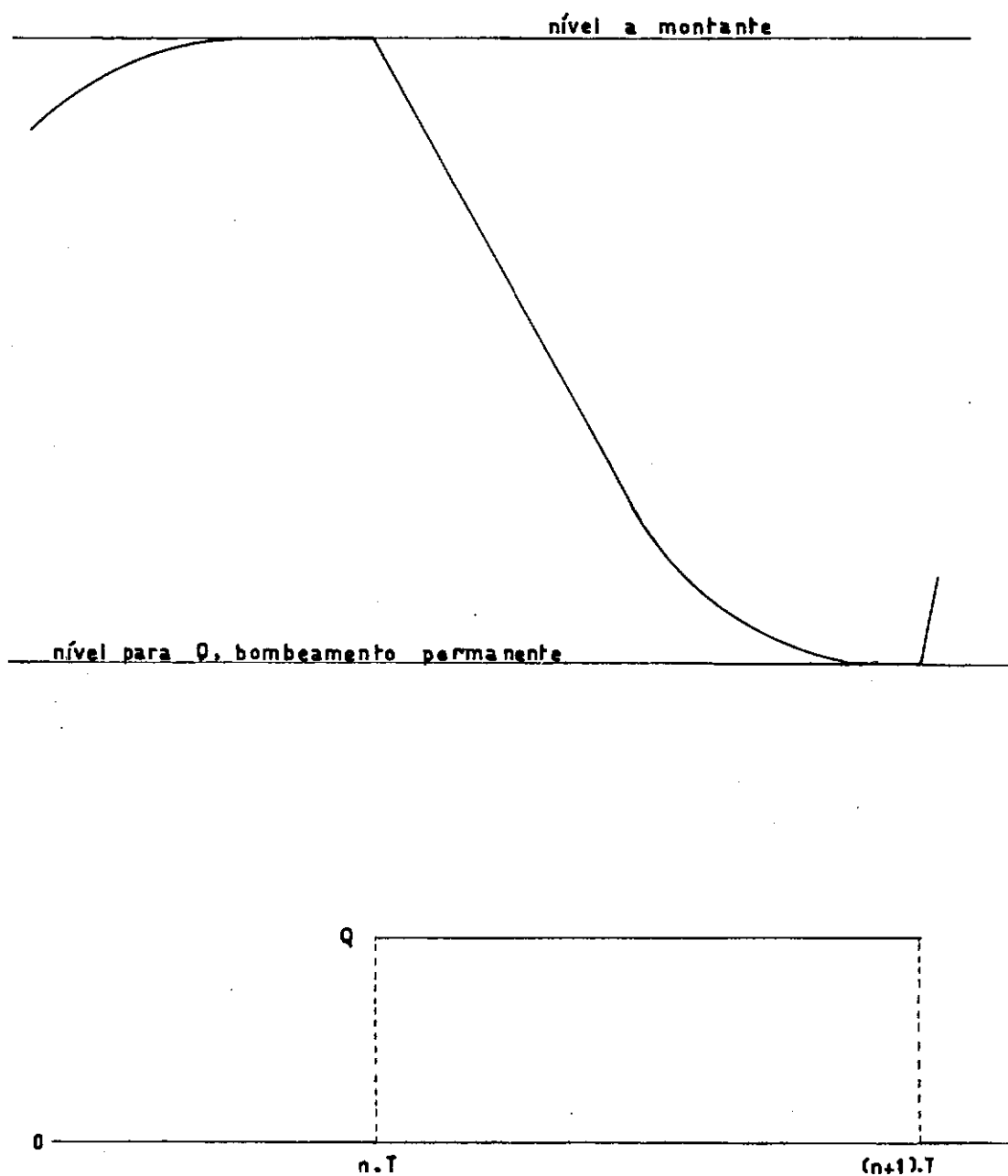


Figura 32.

VII - SUGESTOES

Aqui, anotamos algumas sugestões acarretadas por - dificuldades surgidas durante a pesquisa e que visam facilitar futuros trabalhos:

- 1) Padronização da confecção dos meios porosos artificiais, - através de ensaios que, para determinada granulometria, - quantidade de aglutinante e modo de prepará-los, identifiquem o mesmo através, principalmente, da permeabilidade e porosidade.
- 2) Uso de um medidor de vácuo na saída da bomba B e para sua alimentação um transformador estabilizado.
- 3) Um estudo mais acurado da ponta elétrica de medição para a determinação da tensão de trabalho ótima, assim como, um - sistema sensível.
- 4) Estudar um meio de se alterar o sentido do bombeamento sem maiores trabalhos.
- 5) Estudar outro tipo de configuração tal como uma disposição em camadas fig. (33)

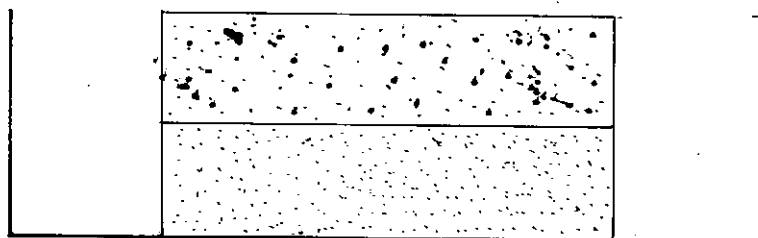


Fig. (33) - Camadas heterogêneas.

BIBLIOGRAFIA

- HARR, M. E. - " Groundwater and Seepage", Mc Graw-Hill,
- 1962.
- THIRRIOT, C - "Quelques suggestions pour l'étude des -
nappes en Milieux hétérogènes ou stratifiés"
- SCHNEEBELI, G - "Hydraulique Souterraine", Eyrolles, Paris,
1966 -
- CHAPMANN, T. G. - "Capillary Effects in a two-dimensional
ground-water flow system", Géotechnique -
Vol X, 55-61, 1960.
- POLUBARINOVA - KOCHINA, P. Ya - "Theory of ground-water -
movement", Princenton, -
- 1962 -
- SCOTT, R.F. - "Principles of Soil Mechanics", Addison -
Wesley - Massachussets, 1965.
- BEAR, J. - "Scales of Viscous Analogy Models for ground-
water studies", Journal of the Hydraulics Di-
vision, HY 2, 11-23, 1960.

APÊNDICE A

Determinação da Permeabilidade

O ensaio para a determinação do coeficiente de permeabilidade, foi feito utilizando-se a lei de Darcy e um permeâmetro (figura (33)) que usa como fluido, o ar.

É constituído por um compressor (A), de um rotâmetro (B), destinado a medir a vazão do fluido, de um suporte (c) - no qual se coloca o corpo de prova (E), e um manômetro a água (D) para medir as variações em mm. c. a.

O conjunto funciona da seguinte maneira: Regula-se no compressor uma vazão que será lida no rotâmetro. Ao passar pelo meio poroso haverá uma perda de carga entre os extremos do corpo de prova que será lida, com o auxílio de um catetômetro (F) para melhor precisão, no manômetro e, com isto teremos uma série de pares de valores vazão - diferença de pressão.

Com estes dados, constantés da tabela (37), transformado já em gradiente de pressão, plotamos as retas constantes da figura (36), contra a velocidade. A fórmula usada foi:

$$V = K_g \cdot \frac{\Delta P}{L}$$

em que:

$$K_g = \frac{P}{\mu_{ar}}$$

P = permeabilidade geométrica - do meio (cm)

$$\Delta p = \varpi \cdot \Delta H$$

K = permeabilidade relativa ao ar.

$$V = \frac{Q}{S}$$

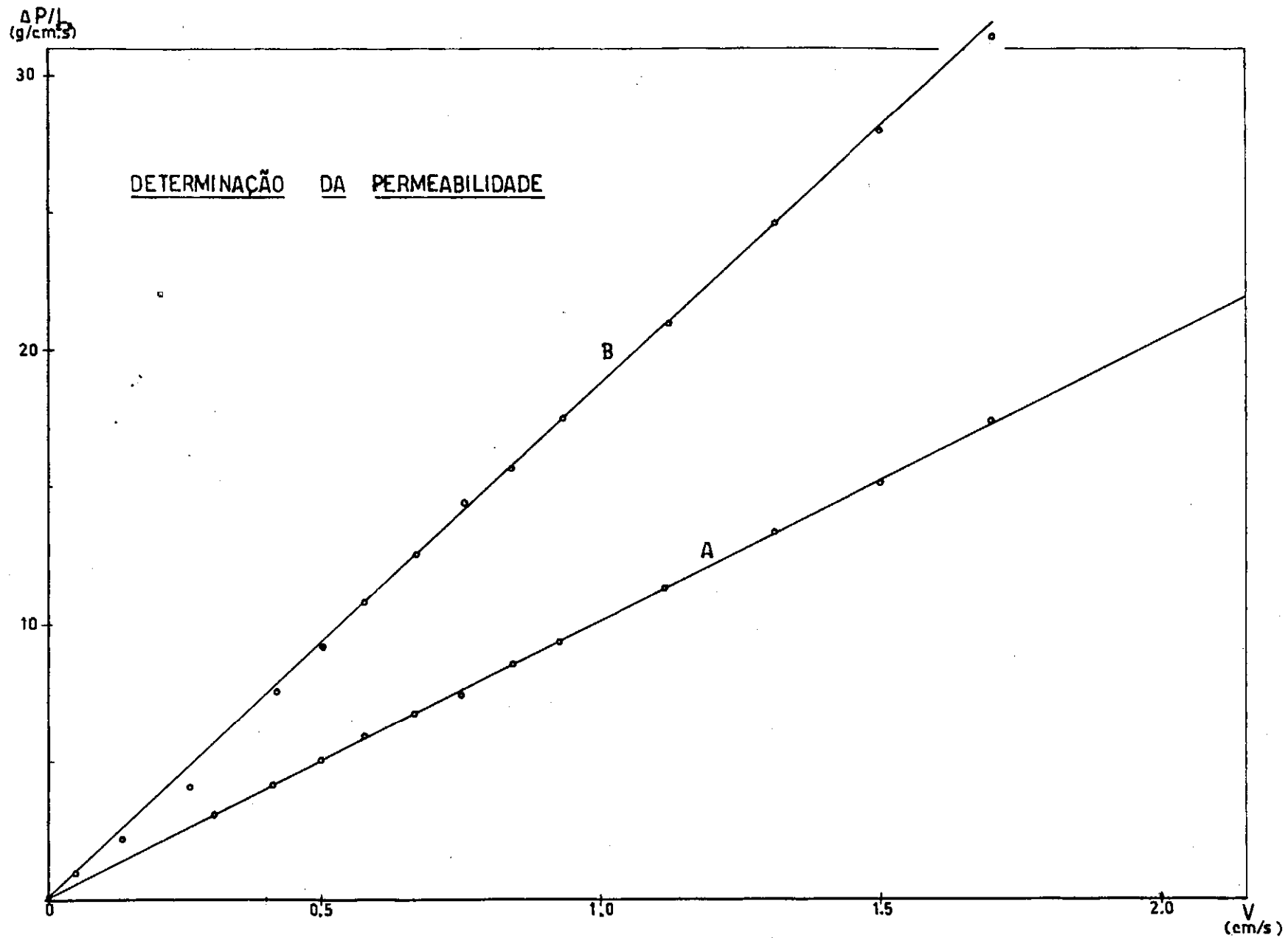
μ_{ar} = viscosidade dinâmica do ar
 ϖ = peso específico da água.

TABELA 37

Valores encontrados no ensaio de Permeabilidade

| Velocidade (cm/s) | $\Delta p/l$ (g/cm ² s ²) | |
|----------------------|--|--------|
| | A | B |
| 0 | 0 | 0 |
| 0.053 | - | 0.955 |
| 0.140 | - | 2.184 |
| 0.261 | - | 4.101 |
| 0.306 | 3.139 | - |
| 0.412 | 4.185 | 7.462 |
| 0.495 | 4.970 | 9.104 |
| 0.595 | 5.821 | 10.700 |
| 0.663 | 6.605 | 12.446 |
| 0.751 | 7.325 | 14.349 |
| 0.840 | 8.502 | 15.500 |
| 0.928 | 9.208 | 17.324 |
| 1.120 | 11.282 | 20.823 |
| 1.310 | 13.211 | 24.453 |
| 1.505 | 14.977 | 27.723 |
| 1.700 | 17.266 | 31.111 |

Figura 36.



APÊNDICE B

Ensaio de porosidade.

Para o ensaio de porosidade emprega-se um porosímetro - constante da figura (35). Ele consta essencialmente de um sistema de dois vasos comunicantes (A) e (B), associados a um capilar (C) e de uma bomba de vácuo. Controlando este sistema estão 3 torneiras (T_1), (T_2) e (T_3), que permitem a passagem do fluido de um vaso para outro ou destes para o exterior. O funcionamento se faz da seguinte maneira.

Com o sistema formado por (A), (B), (C), (T_1) e (T_2), com (T_3) fechada e (T_1) aberta colocamos água destilada, em uma altura suficiente para cobrir a amostra, e, ao ser atingido o equilíbrio estático, fixamos o nível em (C) com um catetômetro. A seguir, fechamos (T_1), e abrindo (T_2) retirando a água de (A) e a colocamos em (B). Após a operação, colocamos em (A) a amostra e adaptamos nela a cúpula (D).

Nesta situação, fechamos também (T_2) e abrimos (T_3) por onde, com auxílio da bomba de vácuo, retiramos o ar do recipiente (A) - (D) e da amostra. Devemos prevenir previamente a possibilidade de entrada ou saída de ar através das torneiras. Após isto fechamos (T_3) e abrimos (T_1) fazendo a pressão atmosférica com que a água passe do recipiente (B) para o conjunto (A)-(D), cobrindo a amostra como podemos ver na figura (35). Para assegurar uma melhor saturação podemos fechar (T_1) e ligar a bomba de vácuo e abrir (T_3) deixando assim por algum tempo.

Uma vez estando a amostra saturada, deixa-se entrar o ar em (A)-(D) e abre-se (T_3) deixando equilibrar o sistema. Abrindo-se (T_2) retira-se um volume de água V_a que faz com que fique restabelecido o nível antigo. Este volume equivale ao volume de sólidos da amostra saturada. Sendo a porosidade γ

dada por:

$$\eta = 1 - \frac{V_s}{V_t}$$

e sendo a forma da amostra conhecida e, conseqüentemente seu volume total, e sendo $V_s = V_a$ temos então a porosidade determinada. Tomamos 4 amostras de cada meio na determinação da mesma, dando os valores constantes da tabela (38), valores bastante dispersos. Cada amostra tinha altura de 5 cm.

TABELA (38)

Valores encontrados no ensaio de porosidade

| Nº | A (%) | B (%) |
|-------|-------|-------|
| 1 | 44.0 | 34.1 |
| 2 | 32.0 | 35.1 |
| 3 | 31.6 | 41.2 |
| 4 | 45.0 | 32.2 |
| Média | 38.21 | 35.7 |

APÊNDICE C

Ensaio de Bombeamento

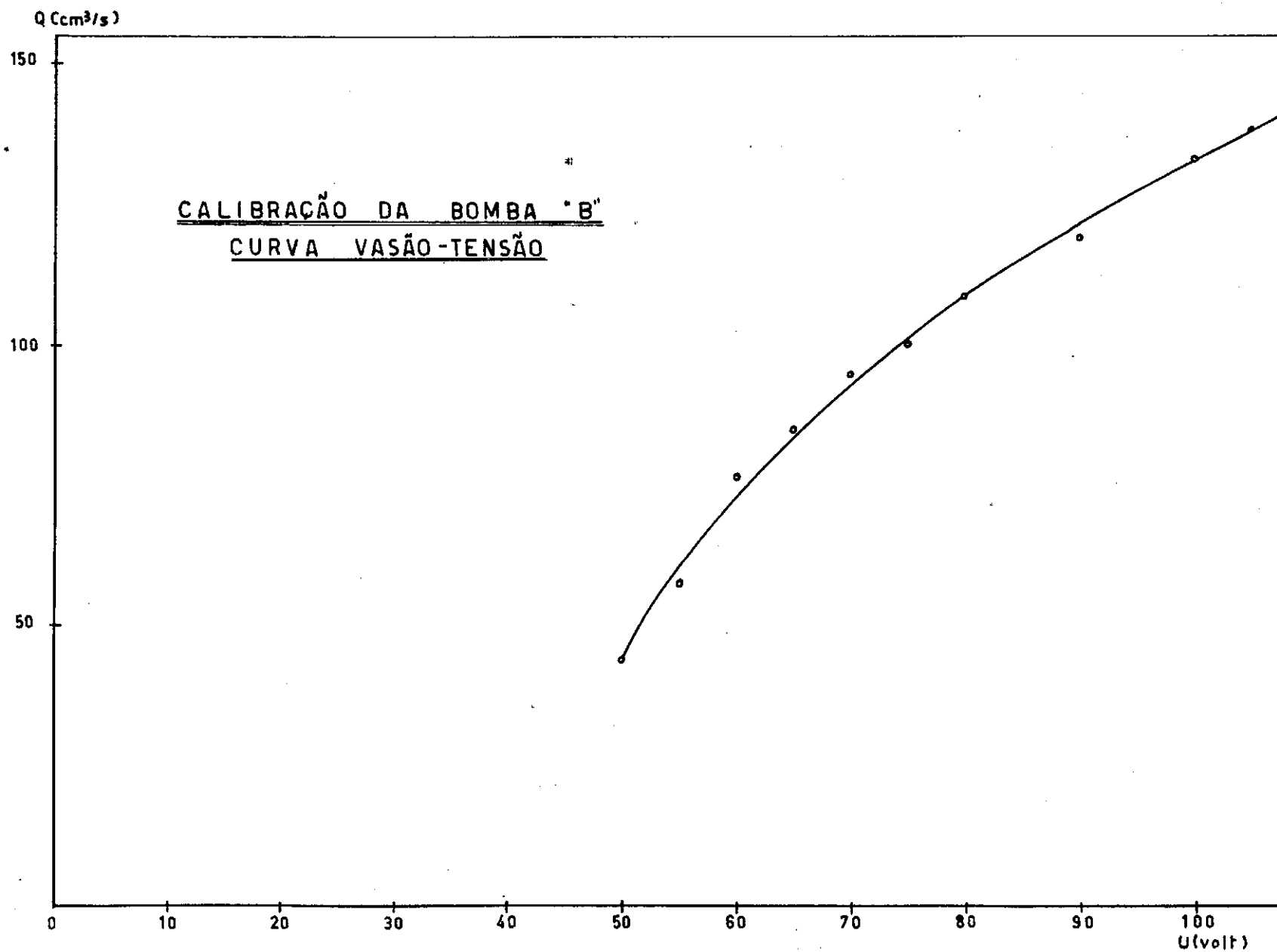
O ensaio de bombeamento foi feito simplesmente alimentando a bomba B com determinada tensão e verificar o tempo que levava para encher o volume de 1 litro. Dividindo-se o volume pelo tempo de enchimento, teve-se, então, a tabela (39), dos - valores tensão - vazão. Estes valores foram lançados no gráfico da figura (37) e auxiliaram grandemente nos ensaios.

TABELA (39)

Valores encontrados no ensaio de Bombeamento

| Tensão (volt) | vazão (l/s) |
|------------------|----------------|
| 50 | 0.0441 |
| 55 | 0.0577 |
| 60 | 0.0769 |
| 65 | 0.0839 |
| 70 | 0.0944 |
| 75 | 0.1000 |
| 80 | 0.1080 |
| 90 | 0.1190 |
| 100 | 0.1330 |
| 110 | 0.1470 |

CALIBRAÇÃO DA BOMBA "B"
CURVA VASÃO-TENSÃO



A P É N D I C E D

PROGRAMAS DE COMPUTADOR

// JOB T

TS 68195

LOG DRIVE CART SPEC CART AVAIL PHY DRIVE
0000 0008 0008 0000

V2 M04 ACTUAL 16K CONFIG 16K

// FOR

LUCIVAL

*IOCS(CARD,1132PRINTER)

*ONE WORD INTEGERS

*LIST SOURCE PROGRAM

C

C PROGRAMA PARA ESCREVER AS TABELAS

G

```

      DIMENSION INT(8),Q(15,8),HMAX(15,8,2),HMIN(15,8,2),DELTA(15,8,2)
      READ(2,10)((INT(I),I=1,8)
10  FORMAT(8I4)
      READ(2,30)(Q(I,2),I=1,15)
30  FORMAT(15F5.3)
      READ(2,40)((HMAX(J,K,I),K=1,8),J=1,15),I=1,2)
      READ(2,40)((HMIN(J,K,I),K=1,8),J=1,15),I=1,2)
40  FORMAT(8F10.2)
      DO 2 K=1,2
      DO 2 J=1,15
      M=(K-1)*15+J+4
      WRITE(3,100)M
100  FORMAT(1H1//////////56X,'TABELA',I3///45X,'VALORES ENCONTRADOS
      1PARA K1   K2'////30X,'VASAO',8X,'PERIODO',10X,'H MAX',10X,'H MIN',
      20X,' H'//)
      J=1
      Q(I,J)=Q(I,2)/2.
      DO 1 J=3,8
1  Q(I,J)=Q(I,2)
      DO 2 J=1,8
      TEST3=INT(J)
      IF(TEST3)7,8,7
7  DELTA(I,J,K)=HMAX(I,J,K)-HMIN(I,J,K)+0.001
      TEST1=HMAX(I,J,K)
      TEST2=HMIN(I,J,K)
      IF(TEST1)4,5,4
4  IF(TEST2)6,5,6
5  WRITE(3,200)Q(I,J),INT(J)
      GO TO 2
8  DELTA(I,J,K)=0.
6  WRITE(3,300)Q(I,J),INT(J),HMAX(I,J,K),HMIN(I,J,K),DELTA(I,J,K)
2  CONTINUE
200  FORMAT(30X,F5.3,11X,I2,14X,'-',14X,'-',13X,'-'//)
300  FORMAT(30X,F5.3,11X,I2,12X,F5.2,10X,F5.2,10X,F4.2//)
      CALL EXIT
      END

```

FEATURES SUPPORTED

ONE WORD INTEGERS

IOCS

CORE REQUIREMENTS FOR

COMMON 0 VARIABLES 1702 PROGRAM 530

END OF COMPILATION

// XEQ

PAGE 1 TS 68195

// JOB T

TS 68195

| | | | |
|-----------|-----------|------------|-----------|
| LOG DRIVE | CART SPEC | CART AVAIL | PHY DRIVE |
| 0000 | 0008 | 0008 | 0000 |

V2 M04 ACTUAL 16K CONFIG 16K

// FOR

LUCIVAL

*IOCS(1132PRINTER)

*ONE WORD INTEGERS

*LIST SOURCE PROGRAM

C

C CALCULO DOS VALORES PARA A CURVA DE DUPUIT

C

REAL MU

AHI=29.2

B=10.

EL=60.

PI=981.

MU=0.01

PERGI=0.90E-5

XKAI=PERGI*PI/MU

COEFI=XKAI*B*0.5/EL

ALT=AHI*AHI

WRITE(3,100)

100 FORMAT(1H1/////////55X,'TABELA 35'//39X,'VALORES DAS VASOES PARA A

1 CURVA DE DUPUIT'///48X,'H 1',7X,'H 2',6X,'VASAO'//)

VASI=0.

WRITE(3,300)AHI,AHI,VASI

300 FORMAT(42X,3F10.2//)

DO 1 I=1,291,10

AHJ=(291-I)*0.1

DIF=ALT-AHJ*AHJ

VASI=COEFI*DIF

IF(I-181)1,2,1

2 WRITE(3,400)

400 FORMAT(1H1/////////48X,'H 1',7X,'H 2',6X,'VASAO'//)

1 WRITE(3,300)AHI,AHJ,VASI

CALL EXIT

END

FEATURES SUPPORTED

ONE WORD INTEGERS

IOCS

CORE REQUIREMENTS FOR

COMMON 0 VARIABLES 26 PROGRAM 264

END OF COMPILATION

// XEQ

PAGE 1 TS 68195

// JOB T

TS 68195

LOG DRIVE CART SPEC CART AVAIL PHY DRIVE
 0000 0008 0008 0000

V2 M04 ACTUAL 16K CONFIG 16K

// FOR

LUCIVAL

*IOCS(CARD,1132PRINTER)

*ONE WORD INTEGERS

*LIST SOURCE PROGRAM

C
 C PROGRAMA PARA O CALCULO DA PERMEABILIDADE

C PERMEAMETRO A AR - 12 VALORES - VASAO EM CC/MIN - H EM MM

C
 C DIMENSION Y(12),X(12),C(2),A(12),B(12)

C READ(2,9)N,XL,YL,NX,NY

C 9 FORMAT(I10,2F10.3,2I10)

C
 C DETERMINACAO DOS VALORES PARA A ESCALA - PAPEL DE TESE

C
 C EX=15.5/2.54/XL

C EY=22.0/2.54/YL

C DIVX=XL/NX

C DIVY=YL/NY

C CALL SCALF(EX,EY,0.,0.)

C CALL FGRID(1,0.,0.,DIVY,NY)

C CALL FGRID(0,0.,0.,DIVX,NX)

C CALL FPLOT(2,XL,YL)

C CALL FPLOT(-1,0.,YL)

C DO 11 IK=1,N

C READ(2,1)(Y(I),I=1,12)

C 1 FORMAT(12F6.3)

C READ(2,2)(X(I),I=1,12)

C 2 FORMAT(12F6.1)

C READ(2,10)HL,AR,PI,XMU

C 10 FORMAT(4F10.5)

C
 C AJUSTAMENTO DOS PONTOS

C
 C DO 5 I=1,12

C A(I)=X(I)

C 5 B(I)=Y(I)

C CALL APOL(Y,X,1,12,C)

C
 C CALCULO DA PERMEABILIDADE OK

C
 C DELTA=C(2)*XL

C OK=HL*XMU/(12.0*PI*AR*C(2))

C
 C SAIDA DOS RESULTADOS

C
 C WRITE(3,3)N

C 3 FORMAT(1H1//////////43X,'VALORES DO ENSAIO DE PERMEABILIDADE'//52X
 C 1,'CORPO DE PROVA',I2/52X,'VASAO ALTURA'//)

C DO 8 I=1,12

C WRITE(3,4)A(I),B(I)

C 4 FORMAT(52X,F5.1,5X,F6.4//)

C D=A(I)

PAGE 2 TS 68195

```

      E=R(I)
      CALL FPLLOT(-2,D,E)
      CALL POINT(1)
8     CALL FPLLOT(1,D,E)
      WRITE(3,6)C(2),C(1)
6     FORMAT(//44X,'AJUSTAMENTO DOS PONTOS A UMA RETA'//53X,'EQUACAO DA
1    RETA'//54X,'Y =',F8.5,' X'//54X,'ERRO =',F6.3/)
      WRITE(3,7)OK
7     FORMAT(//48X,'PERMEABILIDADE DO MEIO A'//54X,'K =',E10.3)
      ER=C(1)
      DELTA=DELTA+ER
      CALL FPLLOT(-2,0.,ER)
      CALL FPLLOT(0,XL,DELTA)
11    CALL FPLLOT(1,0.,0.)
      CALL EXIT
      END

```

FEATURES SUPPORTED
 ONE WORD INTEGERS
 IOCS

CORE REQUIREMENTS FOR
 COMMON 0 VARIABLES 140 PROGRAM 514

END OF COMPILATION

// XEQ

Y = valores de ΔH
 X = valores de Q
 N = número de amostras ensaiadas
 XL = maior valor de que se deseja colocar no gráfico
 YL = maior valor de H que se deseja colocar no gráfico
 NX = número de intervalos no eixo dos X
 NY = número de intervalos no eixo dos Y
 HL = altura da amostra
 AR = área da amostra
 PI = peso específico do ar
 XMU = viscosidade dinâmica do ar.

VALORES DO ENSAIO DE PERMEABILIDADE

| CORPO DE PROVA 2 | |
|------------------|--------|
| VASAO | ALTURA |

| | |
|-------|--------|
| 173.1 | 0.4950 |
|-------|--------|

| | |
|-------|--------|
| 233.0 | 0.6440 |
|-------|--------|

| | |
|-------|--------|
| 279.0 | 0.7600 |
|-------|--------|

| | |
|-------|--------|
| 325.0 | 0.8920 |
|-------|--------|

| | |
|-------|--------|
| 375.0 | 1.0160 |
|-------|--------|

| | |
|-------|--------|
| 425.0 | 1.1290 |
|-------|--------|

| | |
|-------|--------|
| 475.0 | 1.3090 |
|-------|--------|

| | |
|-------|--------|
| 525.0 | 1.4130 |
|-------|--------|

| | |
|-------|--------|
| 633.0 | 1.7270 |
|-------|--------|

| | |
|-------|--------|
| 741.0 | 2.0230 |
|-------|--------|

| | |
|-------|--------|
| 850.5 | 2.3020 |
|-------|--------|

| | |
|-------|--------|
| 960.0 | 2.6530 |
|-------|--------|

AJUSTAMENTO DOS PONTOS A UMA RETA

EQUACAO DA RETA

$$Y = 0.00273 X$$

$$\text{ERRO} = -0.000$$

PERMEABILIDADE DO MEIO A

$$K = 0.180E-04$$

VALORES DO ENSAIO DE PERMEABILIDADE

| CORPO DE PROVA 2 VASAO | ALTURA |
|---------------------------|--------|
|---------------------------|--------|

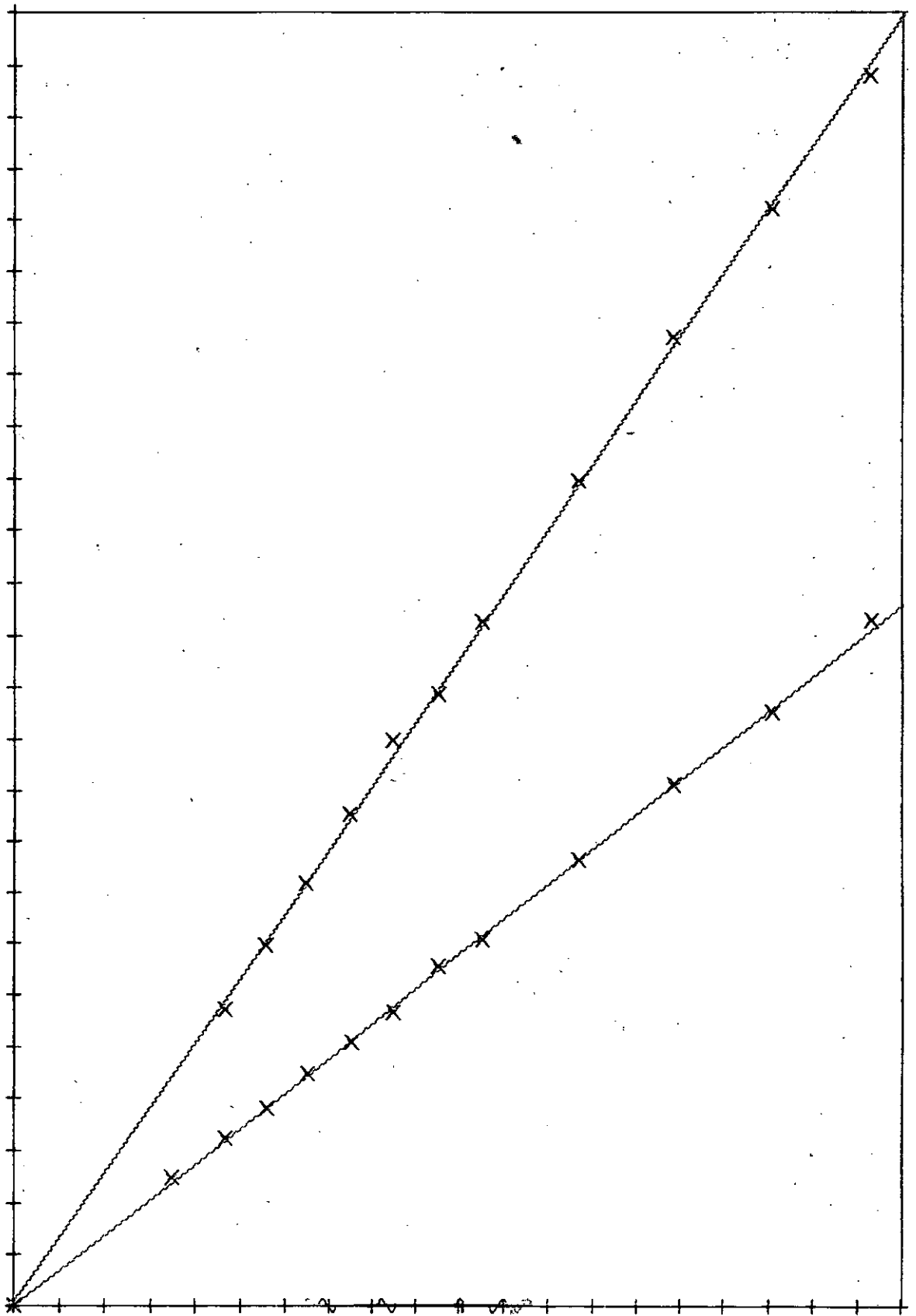
| | |
|-------|--------|
| 0.0 | 0.0000 |
| 233.0 | 1.1410 |
| 279.0 | 1.3920 |
| 325.0 | 1.6360 |
| 375.0 | 1.9030 |
| 425.0 | 2.1940 |
| 475.0 | 2.3700 |
| 525.0 | 2.6490 |
| 633.0 | 3.1840 |
| 741.0 | 3.7390 |
| 850.5 | 4.2390 |
| 960.0 | 4.7570 |

AJUSTAMENTO DOS PONTOS A UMA RETA

EQUACAO DA RETA
 $Y = 0.00498 X$

ERRO = 0.016

PERMEABILIDADE DO MEIO A
 $K = 0.989E-05$



APÊNDICE E

Dados técnicos e fotografias da aparelhagem

- 1 - Bomba A fig. (42)
Motor nº 84976 DAL
Tipo M44- 4
Ciclos 60
HP 1/2 RPM - 1720
Volts 110/220 AMP- 7.8 - 3.9
- 2 - Bomba B fig. (43)
Entrada - 0 a 110 volts.
ciclos - 50 a 60
- 3 - Transformador D (fig 48)
METERED VARIAC
TYPE W5 MT3VM
LINE 120 50-60 ciclos variação -0- 1500
- 4 - Voltímetro fig (44)
Multitester Sanwa 360-YTR
- 5 - Transformador B (fig 44) Variac
Tipo VM 115 nº 620
Corrente máxima 11 A
Entrada 115 saída de 0 a 130
50/60 Hertz
- 6 - Registrador

A P E N D I C E F

FOTOGRAFIAS E GRÁFICOS COMPLEMENTARES.

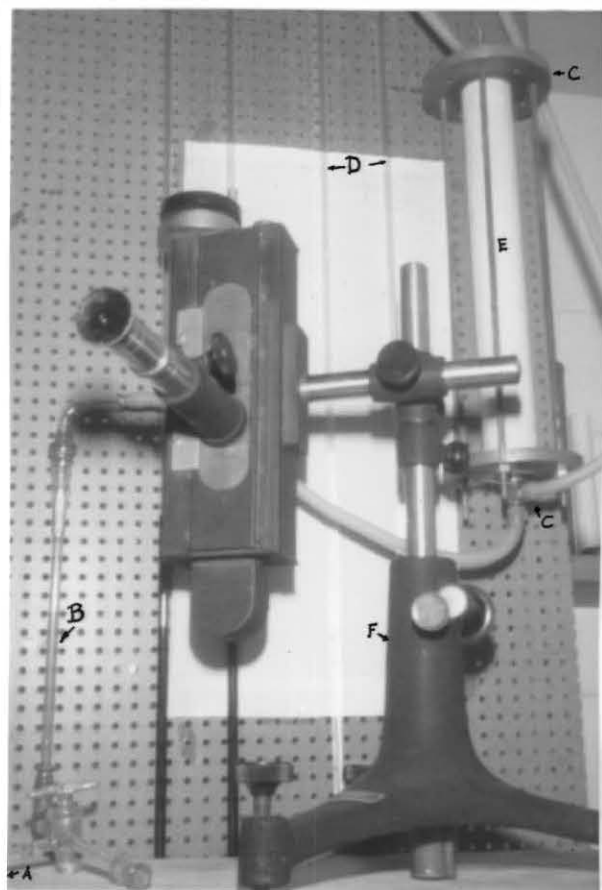


Figura 34.
Permeâmetro a ar.

Figura 35. - Porosímetro

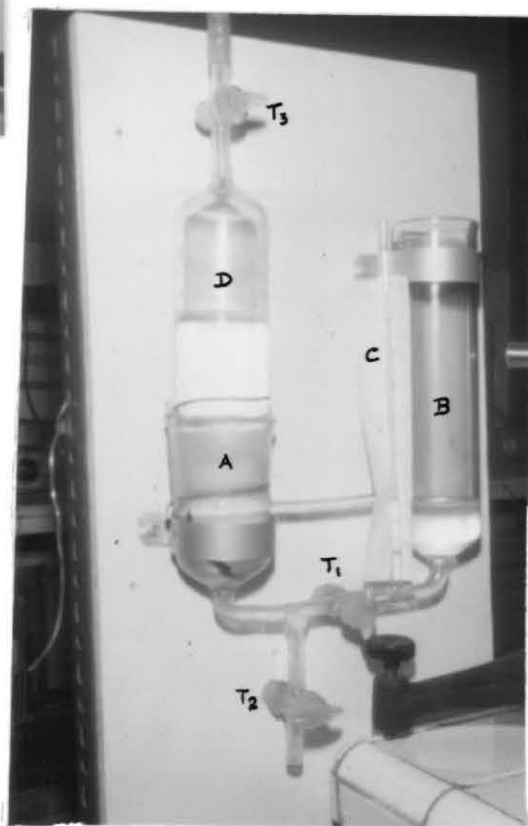




Figura 38. - Material utilizado para
fabricação dos meios.

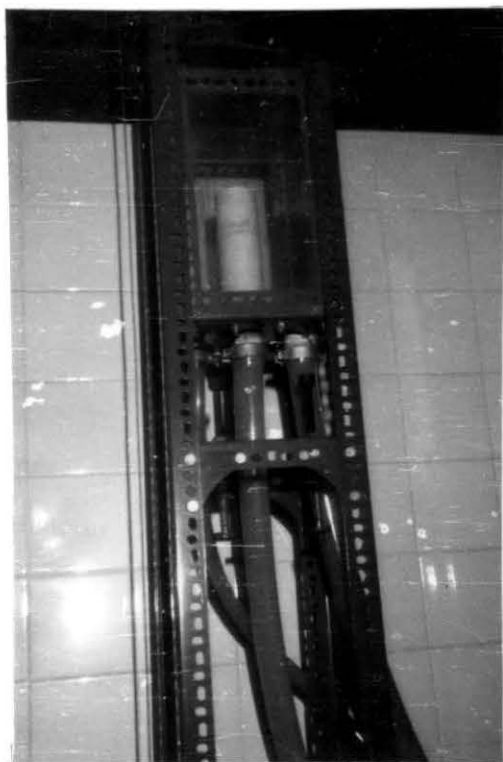


Figura 39. - Parafusos calantes
e ligações hidráulicas no reservatório.



Figura 40. - Vertedor

Figura 41. - Pêsos de
equilíbrio.

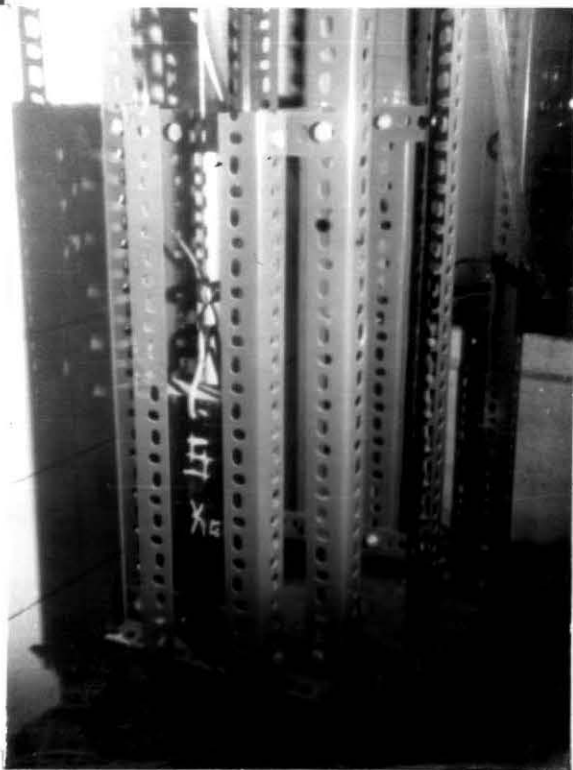




Figura 42. - Bomba A



Figura 43. - Bomba B



Figura 44. - Transformador e voltímetro auxiliares da bomba B.

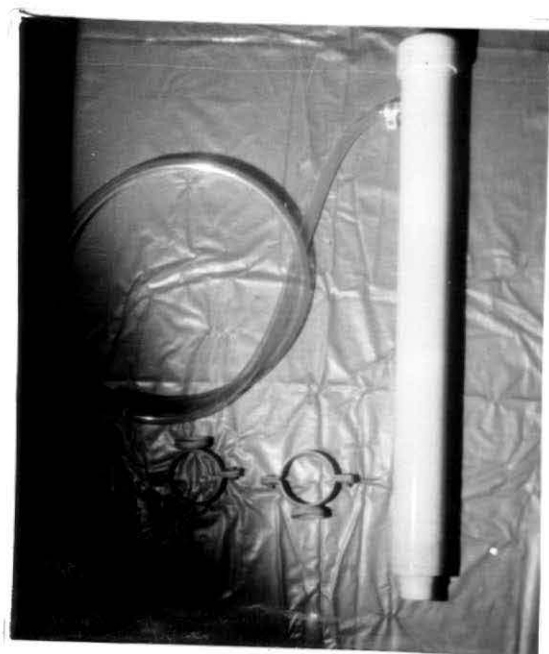


Figura 45. - Sifão

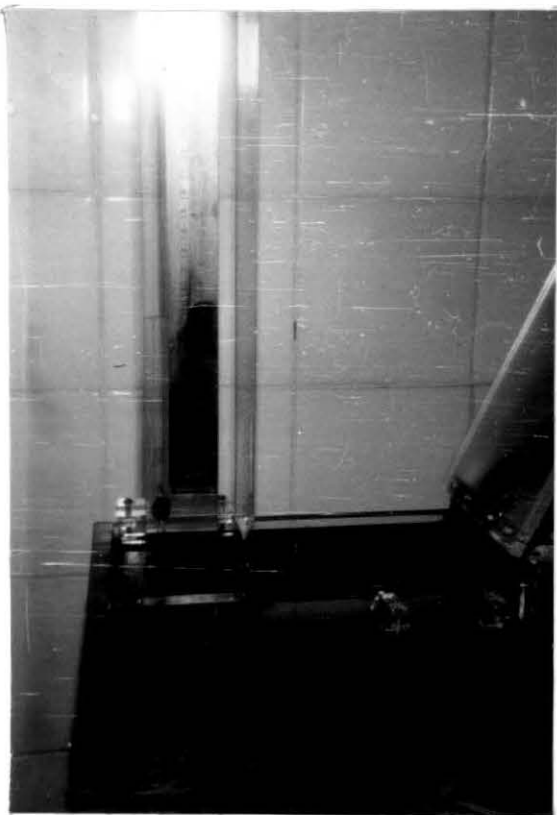


Figura 46. - Detalhe da ponta na água.

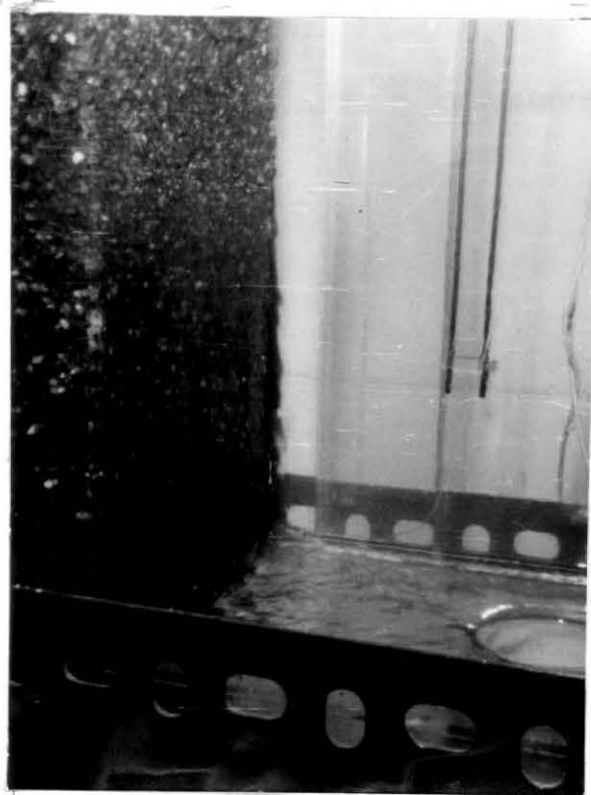


Figura 47. - Superfície de surgência.

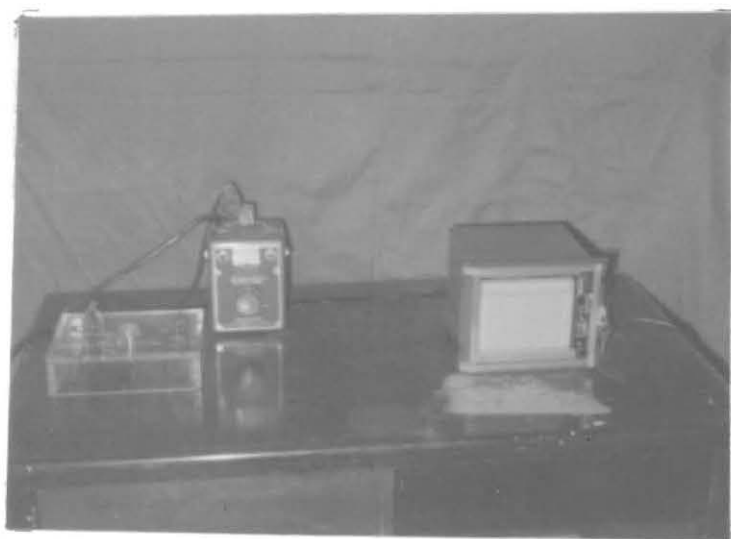


Figura 48. - Mesa de Comando

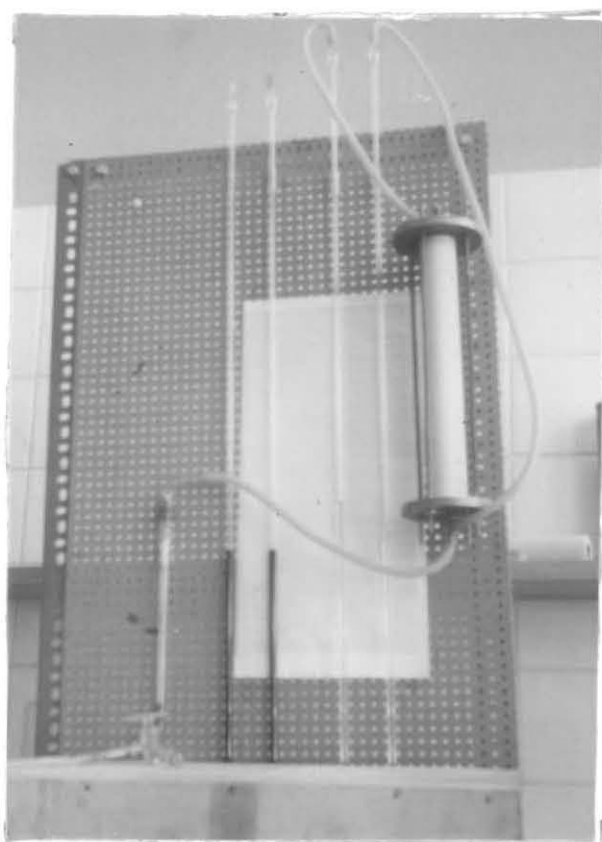


Figura 49. - Permeâmetro
(detalhe)



Figura 50. - Material usado
no ensaio de
porosidade.

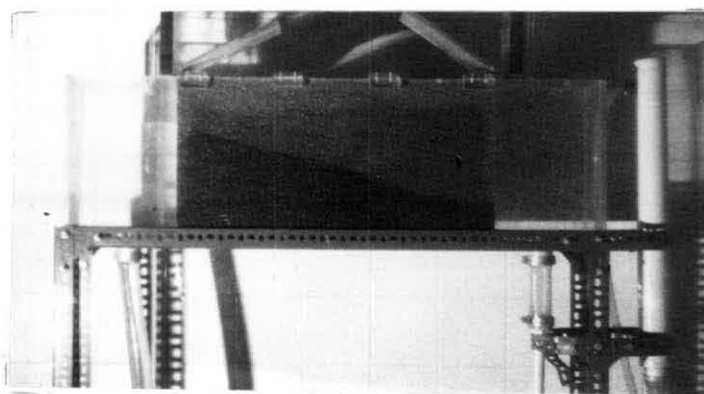


Figura 51. - Escoamento para
 $K_1 > K_2$

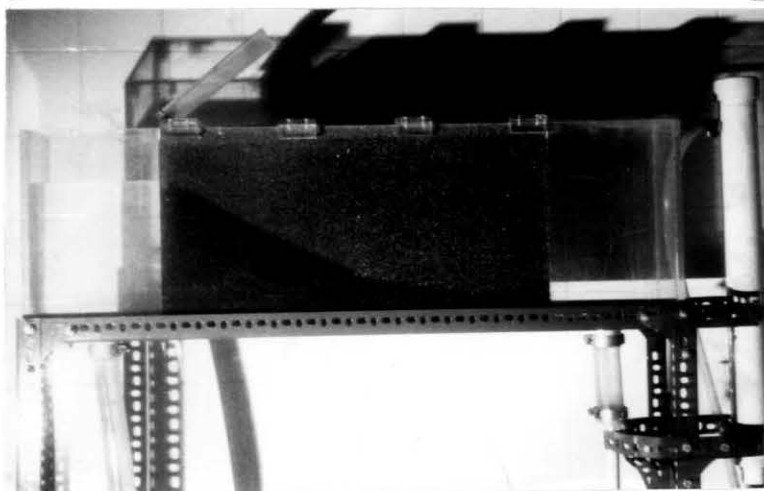


Figura 52. -
Escoamento para
 $K_1 < K_2$

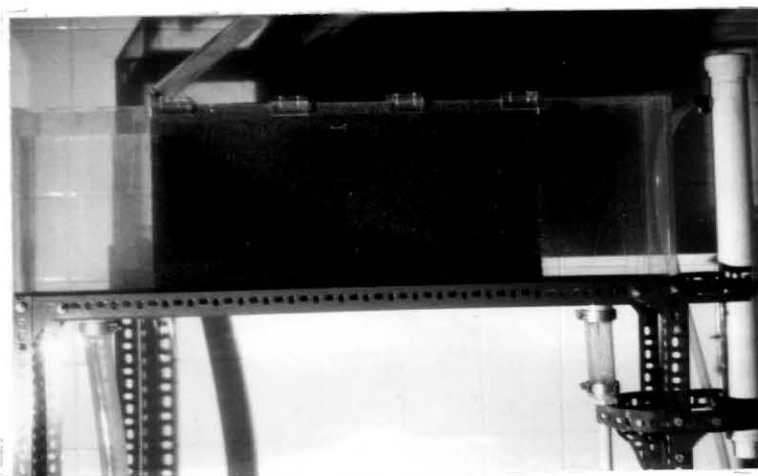


Figura 53. -
Escoamento para
 $K_1 < K_2$

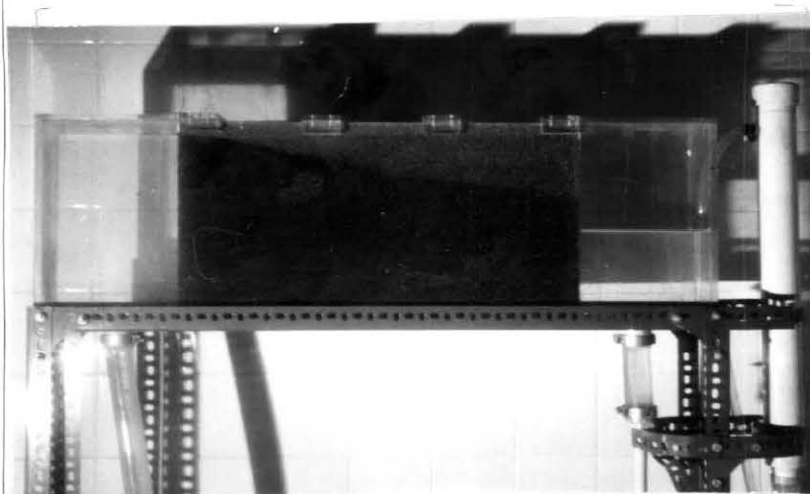


Figura 54. -
Escoamento para
 $K_1 < K_2$

Figura 55. -
Escoamento para
 $K_1 < K_2$

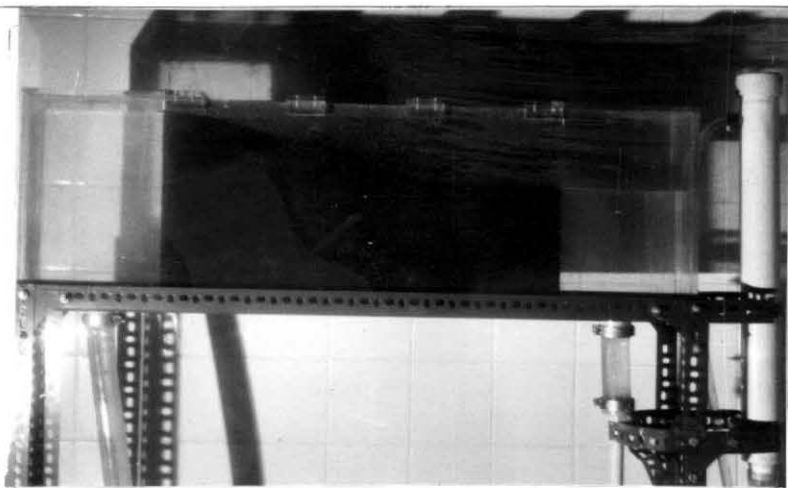


Figura 56. -
Escoamento para
 $K_1 < K_2$

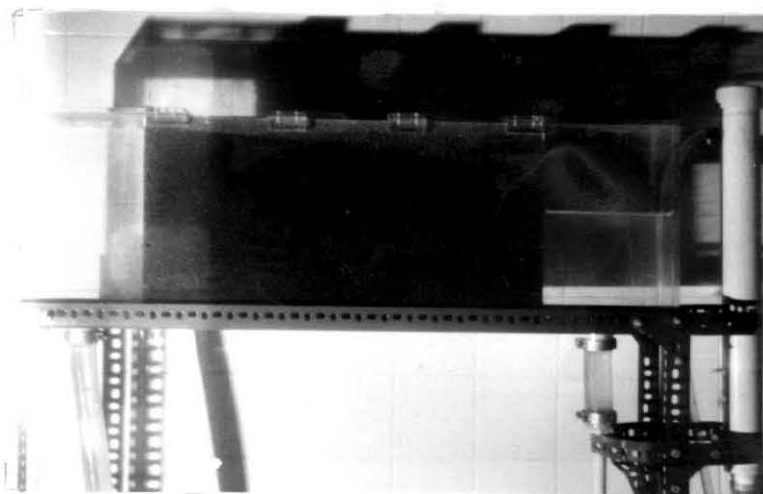
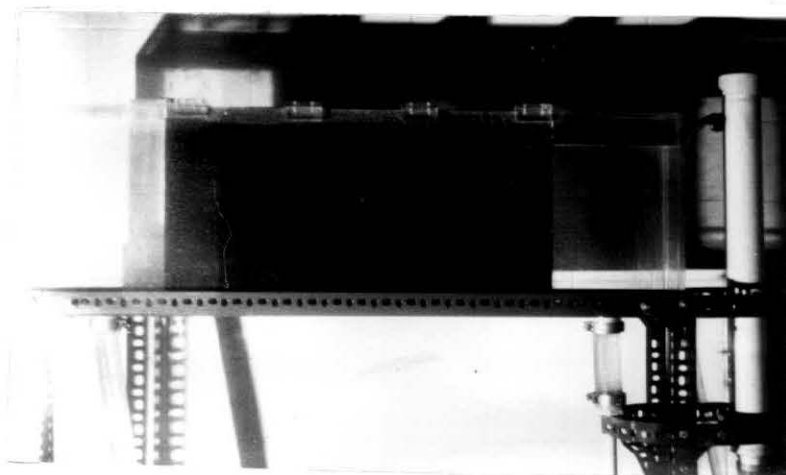
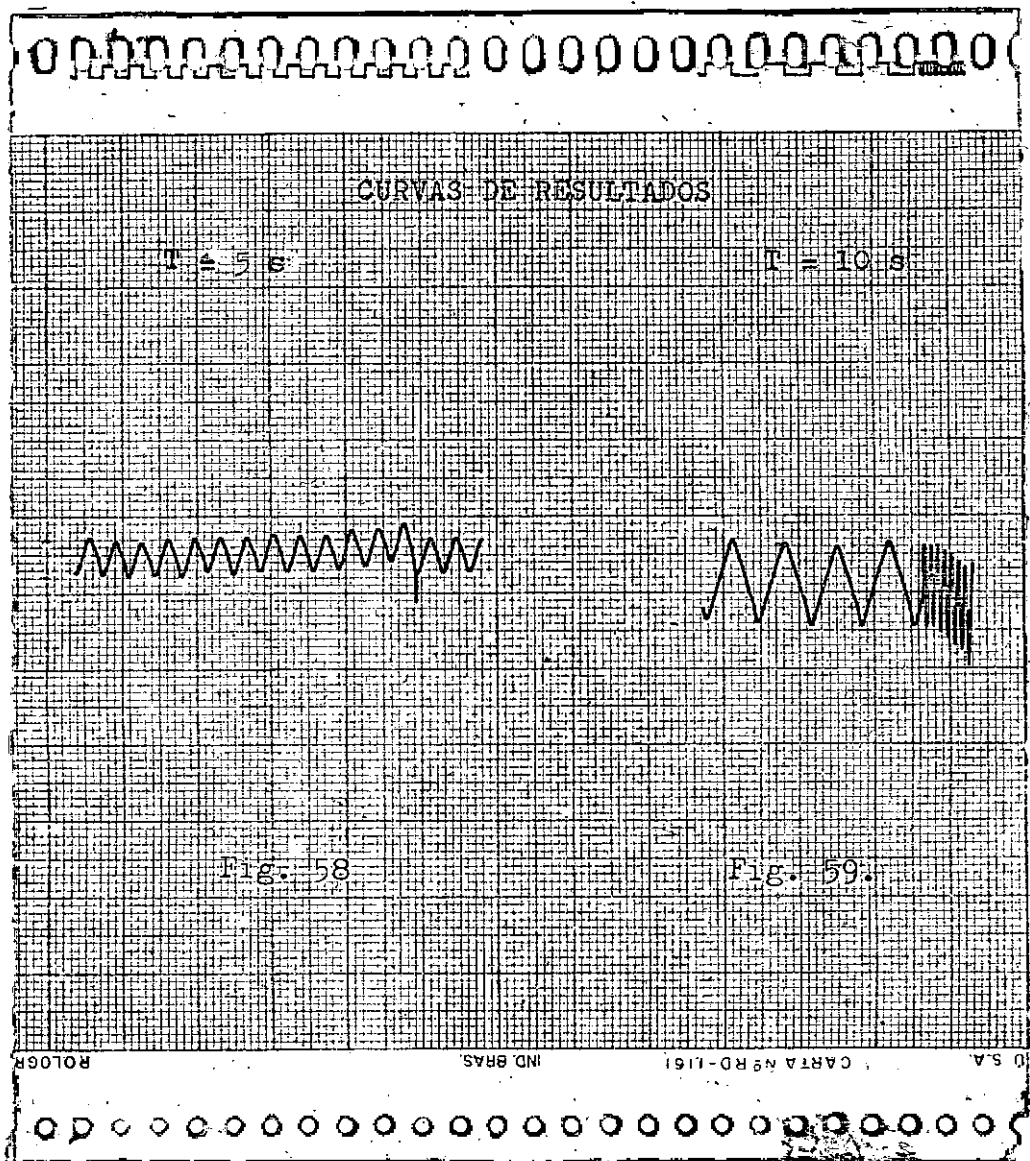
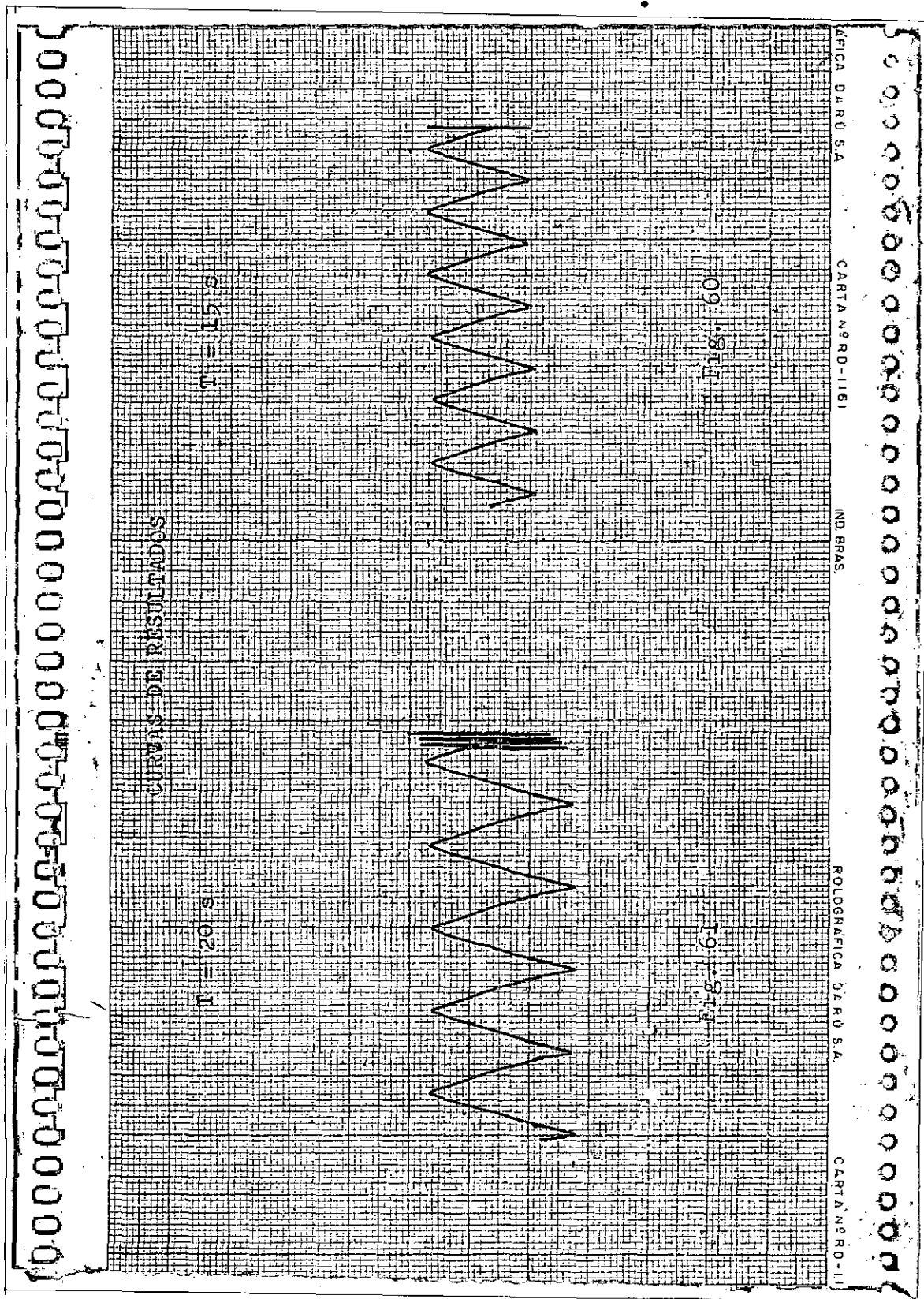


Figura 57. -
Escoamento para
 $K_1 < K_2$

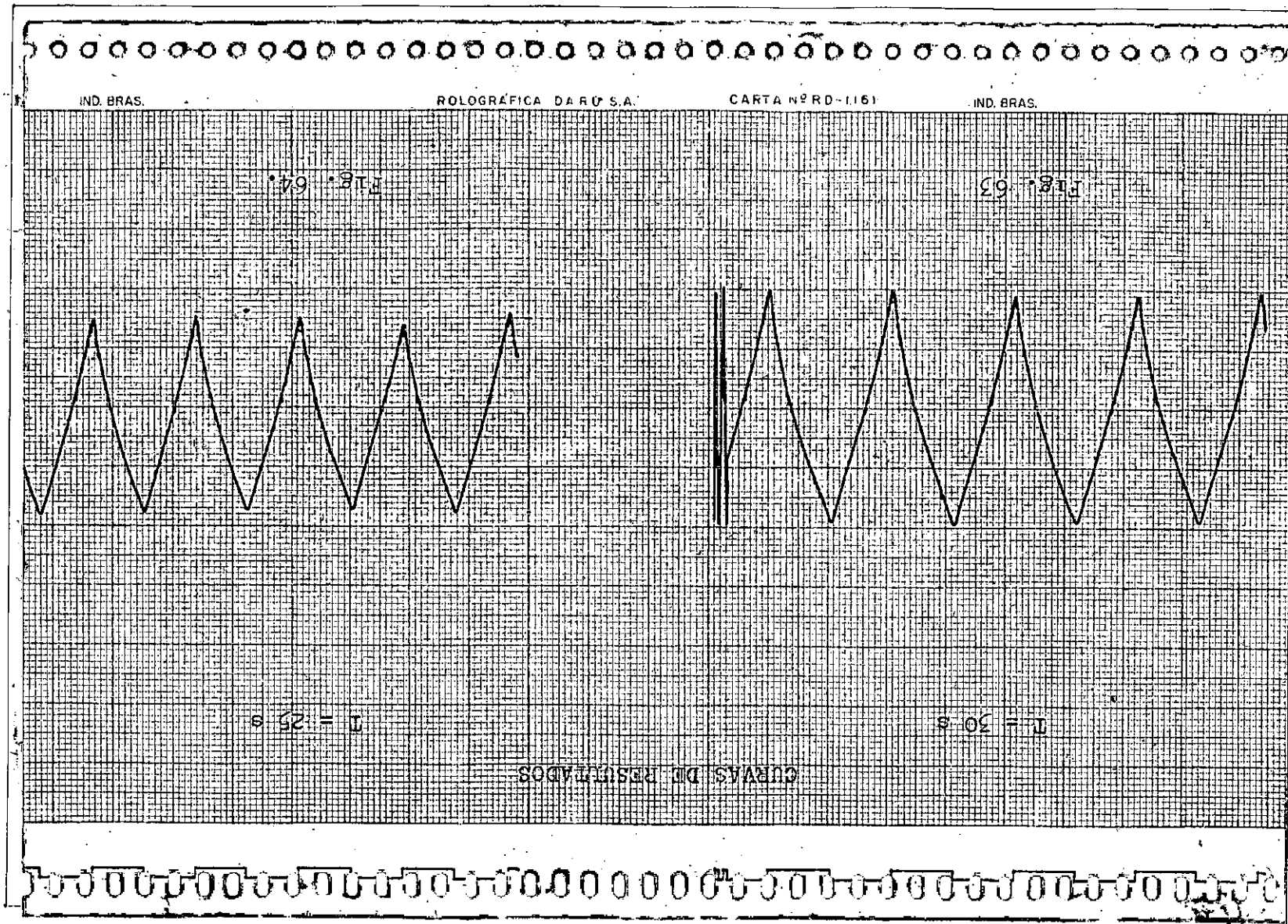




Figuras 58 e 59 - Curvas de resultado



Figuras 60 e 61 - Curvas de resultado.



Figuras 62 e 63 - Curvas resultado.

NOMENCLATURA

| <u>Simbolo</u> | <u>Grandeza física</u> | <u>Unidade (MLT)</u> |
|----------------|----------------------------------|----------------------|
| R | nº de Reynolds | — |
| V | velocidade | $L T^{-1}$ |
| \bar{S} | diâmetro dos grãos | L |
| ν | viscosidade cinemática | $L^2 T^{-1}$ |
| k | permeabilidade absoluta | LT^{-1} |
| ψ | potencial hidráulica | L |
| Q | vasão | $L^3 T^{-1}$ |
| q | vasão por unidade de comprimento | $L^2 T^{-1}$ |
| p | pressão | $M L^{-1} T^{-2}$ |
| $\bar{\omega}$ | pêso específico da água | $M L^{-2} T^{-2}$ |
| ε | porosidade específica | — |
| S | área | L^2 |
| T | período | T |
| U | Tensão | — |