

## RESUMO

Este documento, que é uma norma técnica, apresenta o procedimento para a determinação granulométrica de solos. Prescreve a aparelhagem, amostragem, e os requisitos gerais para execução do método e para obtenção do resultado.

## ABSTRACT

This method describes a procedure for the quantitative determination of the distribution of particles sizes in soils. It considers the apparatus, sampling, and the general requirements for the method execution and for obtaining result.

## SUMÁRIO

0 Apresentação

1 Objetivo

2 Referências

3 Aparelhagem

4 Amostra

5 Ensaio

6 Cálculos

7 Resultados

Anexo normativo

Anexo informativo

**Macrodescriptores MT:** norma, ensaio, ensaio em laboratório, método de ensaio

**Microdescriptores DNER:** ensaio, ensaio de laboratório, análise granulométrica

**Palavras-chave IRRD/IPR:** ensaio (6255), método de ensaio (6288), granulometria (6200), sedimentação (4032)

**Descritores SINORTEC:** normas, granulometria, sedimentação

Aprovada pelo Conselho Executivo em 16/04/64

Resolução nº -/- Sessão nº CA/ -/-

Processo nº 20100018769/64-4

Autor : DNER/DrDTc (IPR)

Adaptação da DNER-ME 051/64 à DNER-PRO 101/93,  
aprovada pela DrDTc em 25/04/94.

## 0 APRESENTAÇÃO

Esta Norma decorreu da necessidade de se adaptar, quanto à forma, a DNER-ME 051/64 à DNER-PRO 101/93, mantendo-se inalterável o seu conteúdo técnico.

## 1 OBJETIVO

Este Método fixa o modo pelo qual se procede à análise granulométrica de solos.

## 2 REFERÊNCIAS

### 2.1 Norma complementar

Na aplicação desta Norma é necessário consultar:

DNER-ME 041/94, designada Solos - preparação de amostras para ensaios de caracterização.

### 2.2 Referências bibliográficas

No preparo desta Norma foram consultados os seguintes documentos:

- a) DNER-ME 051/64, designada Análise granulométrica de solos;
- b) ABNT MB-32, de 1984, registrada no SINMETRO como NBR-7181, designada Solo - análise granulométrica;
- c) AASHTO T 88-86, designada Particle size analysis of soils.

## 3 APARELHAGEM

A aparelhagem necessária é a seguinte:

- a) aparelho de dispersão (Anexo-Figura 1) com hélices substituíveis (Anexo-Figura 2) e copo munido de chicanas ou outro dispositivo capaz de produzir dispersão eficiente da amostras;
- b) peneiras de 50 - 38 - 25 - 19 - 9,5 - 4,8 - 2,0 - 1,2 - 0,6 - 0,42 - 0,30 - 0,15 e 0,075 mm, inclusive tampa e fundo, conforme ABNT EB-22, de 1988, registrada no SINMETRO como NBR-5734, designada Peneiras para ensaio;
- c) agitador para peneiras, com dispositivo para fixação desde uma peneira até seis, inclusive tampa e fundo;
- d) proveta de vidro, de cerca de 45 cm de altura e 6,5 cm de diâmetro, com traço indicando 1 000 ml a 20 °C;
- e) estufa capaz de manter a temperatura entre 105 °C e 110 °C;
- f) balança com capacidade de 1 kg, sensível a 0,1 g;
- g) balança com capacidade de 200 g, sensível a 0,01 g;
- h) cápsula de porcelana com capacidade de 500 ml;
- i) densímetro de bulbo simétrico, calibrado a 20 °C e graduado em 0,001, de 0,995 a 1,050 (Anexo-Figura 4);

- j) termômetro graduado em 0,5 °C, de 0 °C a 50 °C;
- k) cronômetro para intervalo de tempo até 30 minutos com precisão de 1 segundo;
- l) relógio de alarme para intervalo de tempo até 120 minutos com precisão de 1 minuto;
- m) banho no qual se possam colocar as provetas de modo a conservar as dispersões em temperatura aproximadamente constante durante o período de sedimentação (Anexo-Figura 5);
- n) bécher de vidro com capacidade de 250 ml.

#### 4 AMOSTRA

A amostra para ensaio será obtida de acordo com o Capítulo 4 da Norma DNER-ME 041/94 (ver 2.1), constará das seguintes partes:

- a) todo o material retido na peneira de 2,0 mm;
- b) material que passa na peneira de 2,0 mm, do qual:
  - I - cerca de 10 g serão usados para determinação da umidade higroscópica;
  - II - cerca de 120 g; no caso de solos arenosos, ou cerca de 70 g para solos siltosos e argilosos, serão usados no ensaio de sedimentação.

#### 5 ENSAIO

##### 5.1 Sedimentação

5.1.1 Determina-se a umidade higroscópica do material do item 4.b.I, pela fórmula:

$$h = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

onde:

$h$  - teor de umidade, em percentagem;

$P_h$  - peso do material úmido;

$P_s$  - peso do material seco em estufa a 105 °C - 110 °C até constância de peso. Fazem-se as pesagens com a aproximação de 0,01 g.

5.1.2 Pesa-se em um bécher, com aproximação de 0,1 g, o material do item 4.b.II. A seguir, juntam-se, como defloculante, 125 ml de solução de hexametáfosfato de sódio com a concentração de 45,7 g do sal por litro de solução, agitando-se até que todo o material fique perfeitamente molhado, e deixa-se em repouso pelo tempo mínimo de 12 horas.

Notas: 1) A solução de hexametáfosfato de sódio deverá ser tamponada com carbonato de sódio até que a solução atinja um pH entre 8 e 9, evitando, assim, a reversão da solução para ortofosfato de sódio;

2) Poderão ser usados outros dispersores, nas concentrações abaixo indicadas: polifosfato de sódio com a concentração de 21,6 g/litro de solução; trifosfato de sódio com a concentração de 18,8 g/litro de solução, tetrafosfato de sódio com a concentração de 35,1 g/litro de solução.

5.1.3 Verte-se então a mistura no copo de dispersão, removendo-se com água destilada todo o material que tenha aderido ao bécher. Adiciona-se mais água destilada até que seu nível fique 5 cm abaixo da borda do copo e submete-se a mistura à ação do aparelho de dispersão. O tempo de dispersão poderá ser de 5, 10 ou 15 minutos, dependendo do índice de plasticidade do solo. Os solos com índice de plasticidade menor ou igual a 5 poderão ser dispersados em 5 minutos; os de índice de plasticidade entre 5 e 20, em 10 minutos, e os de índice de plasticidade maior que 20, em 15 minutos. Solos contendo grande percentagem da mica podem ser dispersados em 1 minuto.

5.1.4 Transfere-se a dispersão para a proveta, removendo-se com água destilada todo o material que tenha aderido ao corpo do dispersor. Junta-se água destilada até atingir o traço correspondente a 1 000 ml, em seguida, coloca-se a proveta no banho. Agita-se frequentemente com uma bagueta para manter, tanto quanto possível, as partículas em suspensão. Logo que a suspensão atinja a temperatura de equilíbrio, retira-se a proveta do banho e tampando-lhe a boca com uma das mãos, executam-se, com o auxílio da outra, durante 1 minuto, movimentos enérgicos de rotação, pelos quais a boca da proveta passe de cima para baixo e vice-versa.

5.1.5 Imediatamente depois de terminada a agitação, coloca-se a proveta no banho, anota-se a hora exata de início de sedimentação e mergulha-se cuidadosamente o densímetro na suspensão. Fazem-se as leituras do densímetro correspondentes aos tempos de sedimentação, t, de 30 segundos, 1 e 2 minutos, conservando o densímetro na suspensão; terminadas as leituras retira-se lenta e cuidadosamente o densímetro da suspensão. Fazem-se leituras subseqüentes a 4, 8, 15 e 30 minutos, 1, 4 e 25 horas a contar do início da sedimentação. São facultativas, as leituras correspondentes a 2, 8 e 50 horas. Por ocasião de cada leitura do densímetro, anota-se a temperatura da suspensão com aproximação de 0,5 °C.

5.1.6 Após cada leitura, excetuadas as duas primeiras, retira-se lentamente o densímetro e mergulha-se em água à temperatura do banho. Cerca de 15 a 20 minutos antes de cada leitura, mergulha-se lenta e cuidadosamente o densímetro na suspensão, fazendo-se as leituras na parte superior do menisco, com aproximação de 0,0002, após o densímetro ter ficado em equilíbrio.

## 5.2 Peneiramento

### 5.2.1 Material proveniente do ensaio de sedimentação

Terminadas as leituras feitas por ocasião do ensaio de sedimentação, verte-se e lava-se a suspensão, com água potável, na peneira de 0,075 mm; remove-se, com excesso de água, todo o material que tenha aderido à proveta. Seca-se a parte retida na peneira, em estufa a 105 °C - 110 °C, até constância de peso e passa-se nas peneiras de 1,2 - 0,6 - 0,42 - 0,30 - 0,15 e 0,075 mm, anotando-se, com aproximação de 0,1 g, os pesos acumulados em cada peneira.

### 5.2.2 Material retido na peneira de 2,0 mm

Pesa-se o material retido na peneira de 2,0 mm (item 4.a). Passa-se este material nas peneiras de 50 - 38 - 25 - 19 - 9,5 - 4,8 e 2,0 mm, anotando-se, com aproximação de 0,1 g, os pesos retidos em cada peneira.

## 6 CÁLCULOS

### 6.1 Peso total da amostra seca

Subtrai-se o peso de material seco retido até a peneira de 2,0 mm, do peso total da amostra seca ao ar (item 3.c da Norma DNER-ME 041/94, ver 2.1); multiplica-se a diferença assim obtida pelo fator de correção  $\frac{100}{100+h}$ , em que h é a umidade higroscópica determinada como indicado no item 5.1.1. Somando-se este resultado ao peso do material retido na peneira de 2,0 mm (item 5.2.2), obtém-se o peso total da amostra seca.

Nota 3: O cálculo supõe que as partículas retidas na peneira de 2,0 mm e secas ao ar não contenham umidade higroscópica.

## 6.2 Peso do material seco usado na suspensão

Obtém-se multiplicando o peso do material seco ao ar (item 5.2.1) pelo fator de correção  $\frac{100}{100+h}$  em que h é a umidade higroscópica (item 5.1.1).

## 6.3 Percentagem de material que passa nas peneiras de 50 - 38 - 25 - 19 - 9,5 - 4,8 e 2,0 mm

Com o peso do material retido em cada uma das peneiras acima consideradas, calcula-se a percentagem retida em relação ao peso da amostra total seca; com esta, a percentagem acumulada em cada peneira, e, por subtração de 100, a percentagem passando em cada peneira considerada.

## 6.4 Percentagem do material em suspensão

Acha-se a percentagem correspondente a cada leitura do densímetro, referida ao peso total da amostra, pela fórmula:

$$Q = N \times \frac{\delta}{\delta - 1} \times \frac{1\,000 (L_c - 1)}{P_s}$$

onde:

Q - percentagem de material em suspensão no instante da leitura do densímetro;

N - percentagem da amostra total que passa na peneira de 2,0 mm;

$P_s$  - peso do material seco usado na suspensão (item 7.2), em g;

$\delta$  - massa específica real do solo, em g/cm<sup>3</sup>;

$L_c$  - leitura corrigida do densímetro ( $L_c = L + R$ ), em que L é a leitura na parte superior do menisco e R a correção devida ao menisco e à variação de densidade do meio dispersor proveniente da adição do defloculante e da variação de temperatura, obtida da calibração do densímetro utilizado no ensaio.

Nota 4: Aconselha-se a convenção de escrever, das leituras do densímetro e da correção, somente os algarismos à direita da vírgula, e de passar estas 3 (três) casas para a direita; assim, a leitura  $L = 1,0154$  e a correção  $R = + 0,0012$  serão anotadas respectivamente,  $L = 15,4$  e  $R = + 1,2$ .

segundo esta convenção, a expressão,  $1\,000 (L_c - 1)$  da fórmula é substituída pela soma  $L + R$  (no caso  $15,4 + 1,2 = 16,6$ ).

## 6.5 Diâmetro das partículas de solo em suspensão

6.5.1 Calcula-se o diâmetro máximo das partículas em suspensão, no momento de cada leitura do densímetro, pela fórmula (expressão da lei de Stokes):

$$d = \sqrt{\frac{1800 \eta}{\delta - \delta_a} \times \frac{a}{t}}$$

onde:

d - diâmetro máximo das partículas, em mm;

$\delta$  - coeficiente de viscosidade do meio dispersor (água), em g/cm<sup>2</sup>;

a - altura de queda das partículas, correspondentes à leitura do densímetro, em centímetro, obtida na curva de calibração do densímetro;

t - tempo de sedimentação, em segundos;

$\eta$  - massa específica real do solo, em g/cm<sup>3</sup>;

$\delta_a$  - densidade absoluta do meio dispersor, em g/cm<sup>3</sup>.

Notas: 5) Os diâmetros das partículas, determinados pela lei de Stokes, são "diâmetros equivalentes", isto é, diâmetros de partículas esféricas de massa específica igual à de solos em suspensão que cairiam com as mesmas velocidades que as partículas do solo;

6) O cálculo dos diâmetros pela lei de Stokes pode ser feito pelo método gráfico de Casagrande, adiante reproduzido;

7) A altura da queda das partículas é medida pela distância entre o centro de volume do densímetro e a superfície livre da suspensão.

6.5.2 Tabela abaixo dá os diâmetros d correspondentes aos tempos t prescritos nesta Norma, admitindo os seguintes valores na fórmula de Stokes:

a = 20 cm;

$\eta = 1,03 \times 10^{-3}$  g.seg/cm<sup>2</sup> (água a 20 °C);

$\delta = 2,65$  g/cm<sup>3</sup>;

$\delta_a = 1$  g/cm<sup>3</sup> (água a 20 °C).

**Tabela - Diâmetros das partículas em função dos tempos de sedimentação.**

t - min	d - mm	t - horas	d - mm
0,5	0,087	1	0,0079
1,0	0,061	2	0,0056
2,0	0,043	4	0,0039
4,0	0,031	8	0,0028
8,0	0,022	25	0,0016
15,0	0,016	50	0,0011
30,0	0,011		

6.5.3 Para alturas de queda diferentes de 20 cm, multiplicando-se os diâmetros obtidos na Tabela pelo coeficiente:

$$K_a = \sqrt{\frac{a}{20}}$$

6.5.4 Para massa específicas reais do solo diferentes de  $2,65 \text{ g/cm}^3$ , multiplicam-se os diâmetros obtidos na Tabela pelo coeficiente:

$$K_{\delta} = \sqrt{\frac{1,65}{\delta - 1}}$$

6.5.5 Para viscosidade da água diferentes de  $1,03 \times 10^{-5} \text{ g seg/cm}^2$ , multiplicam-se os diâmetros obtidos na Tabela pelo coeficiente:

$$K_{\eta} = \sqrt{\frac{\eta \times 10^5}{1,03}}$$

6.5.6 A correção  $k_a$  pode ser obtida diretamente da Figura 6 do Anexo, desenhada para cada densímetro e que relaciona as leituras do densímetro a esta correção. As correções  $K_{\delta}$  e  $K_{\eta}$  podem ser obtidas com auxílio das Figuras 7 e 8 do Anexo.

Nota 8: Exemplo de cálculo do diâmetro das partículas de solo em suspensão para as seguintes condições:  $t = 1,0 \text{ min}$ ;  $a = 15,0 \text{ cm}$ ;  $\delta = 2,56 \text{ g/cm}^3$ ;  $T = 21 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Obtém-se na Tabela,  $d = 0,001 \text{ mm}$ .

Coeficiente para correção de  $d$ :  $K_a = 0,87$ ;  $K_{\delta} = 1,03$ ;  $K_{\eta} = 0,99$ ; donde o seguinte diâmetro corrigido:  $d = 0,061 \times 0,87 \times 1,03 \times 0,99 = 0,054 \text{ mm}$ .

6.6 Percentagem de material que passa nas peneiras de 1,2 - 0,6 - 0,42 - 0,30 - 0,15 e 0,075 mm

Com o peso do material seco retido em cada uma das peneiras acima consideradas, calcula-se a percentagem retida em relação ao peso da amostra parcial seca usada na sedimentação; com esta, a percentagem acumulada em cada peneira; por subtração de 100, a percentagem que passa da amostra parcial em cada peneira considerada. Exprimindo esta percentagem em relação à percentagem que passa da amostra total na peneira de 2,0 mm, ter-se-á a percentagem que passa da amostra total seca.

## 7 RESULTADOS

### 7.1 Curva de distribuição granulométrica

Desenha-se a curva de distribuição granulométrica, marcando-se em abscissas (escala logarítmica) os diâmetros das partículas e em ordenadas (escala aritmética) as percentagens das partículas maiores do que os diâmetros considerados.

### 7.2 Composição granulométrica

Considera-se "Composição granulométrica" do solo analisado o conjunto das percentagens de partículas com diâmetros abaixo de 4,8 mm, 2,0 mm, 0,42 mm, 0,075 mm, 0,065 mm e 0,005 mm, 0,001 mm e outros diâmetros que por conveniência devem ser incluídos para bem definir a composição granulométrica.

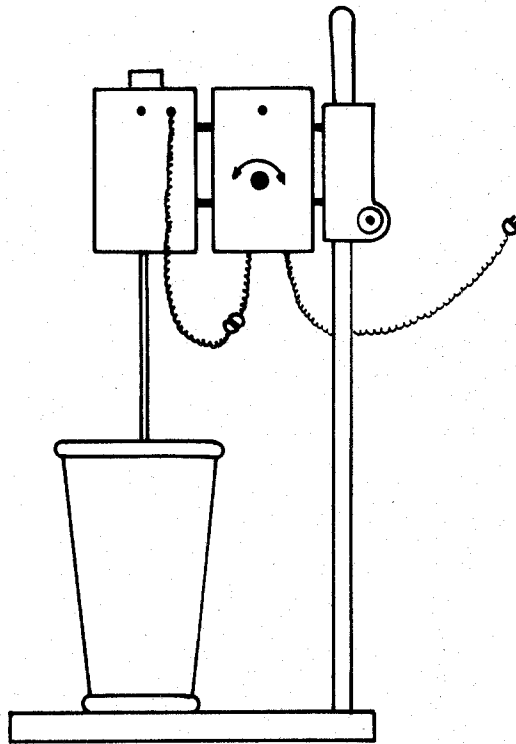


FIGURA 1 - APARELHO DE DISPERSÃO

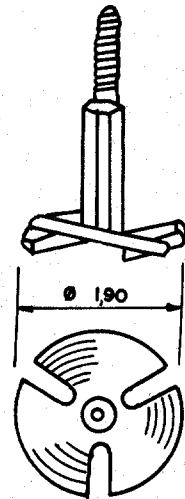


FIGURA 2 - PORMENOR DA HÉLICE

UNIDADE DE MEDIDA: CENTIMETRO (cm)

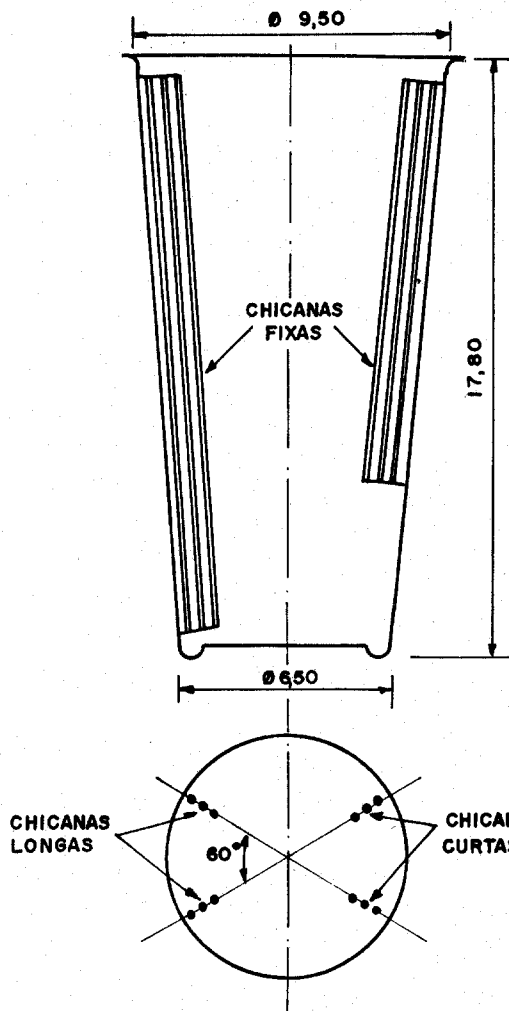


FIGURA 3 - COPO DE DISPERSÃO

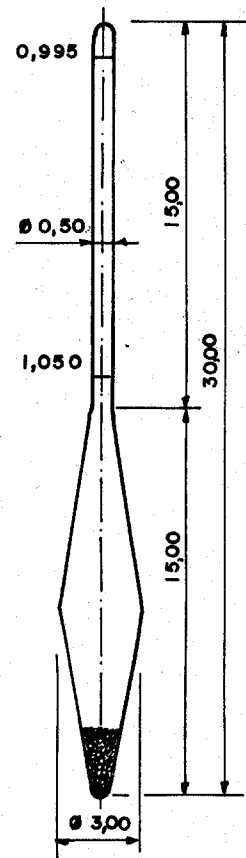
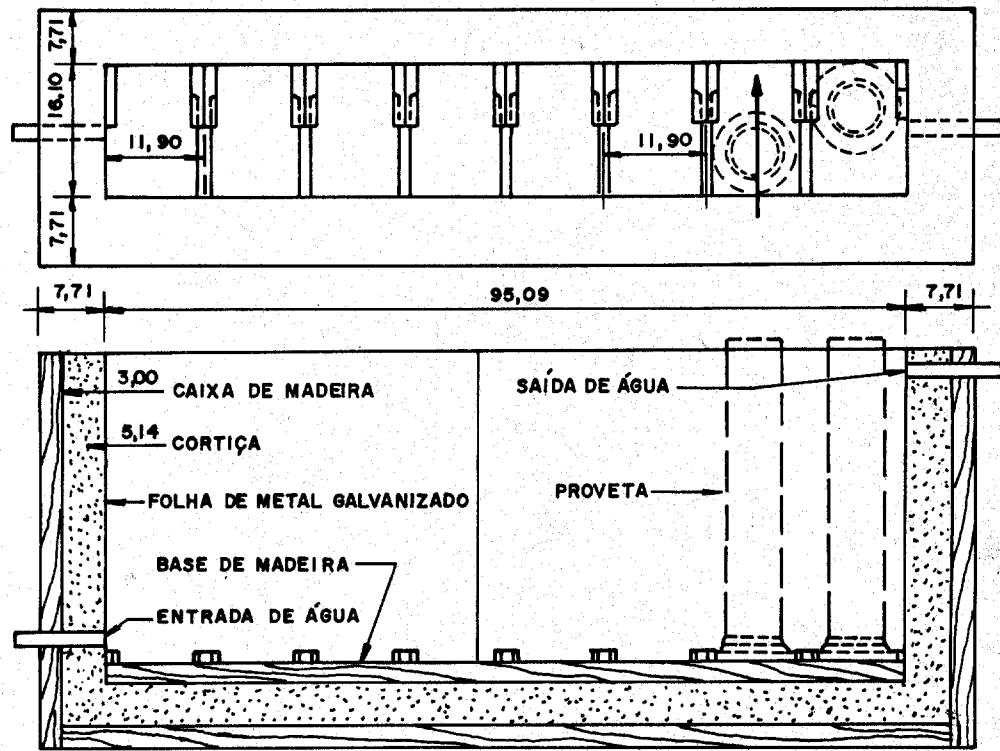


FIGURA 4 - DENSÍMETRO





UNIDADE DE MEDIDA: CENTIMETRO (cm)

FIGURA 5. - TANQUE PARA BANHO DE TEMPERATURA CONSTANTE

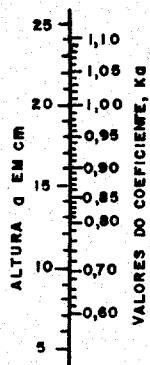


FIGURA 6

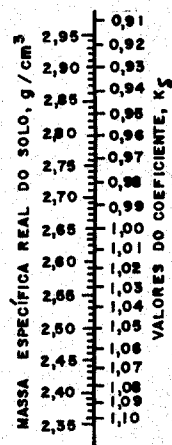


FIGURA 7

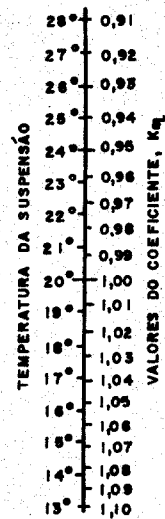


FIGURA 8

## Anexo informativo - Diâmetro das partículas pelo nomograma de Casagrande.

O cálculo dos diâmetros das partículas pela lei de Stokes, pode ser feito pelo nomograma construído por A. Casagrande. A Figura 9 dá as indicações necessárias para sua construção e a Figura 10 apresenta um nomograma já construído. O nomograma, sendo a representação gráfica de lei de Stokes, é adaptável a qualquer densímetro, desde que se tenha feito a correlação entre as alturas de queda e as leituras do densímetro. O uso do nomograma é elucidado pelo exemplo abaixo:

Dados obtidos no ensaio:

$L_d$ - leitura do densímetro .....	34,0 cm
a - altura da queda correspondente à leitura acima .....	15 cm
t - tempo da sedimentação .....	1 min
T - temperatura da suspensão .....	21 °C
$\delta$ - massa específica real do solo .....	2,56 g/cm <sup>3</sup>

Modo de proceder: ligam-se os valores 2,56 e 21 das respectivas escalas  $\delta$  e T por uma reta que cortará a escala B no ponto 11,6. Outra reta ligando os valores de 15,0 cm e 1 minuto nas escalas a e t determinará na escala V a velocidade de 2,5 cm/seg. Uma terceira reta, ligando este valor ao ponto 11,6 sobre a escala B, cortará a escala d no ponto 0,054 mm, que é o diâmetro máximo procurado das partículas em suspensão, nesta ocasião.

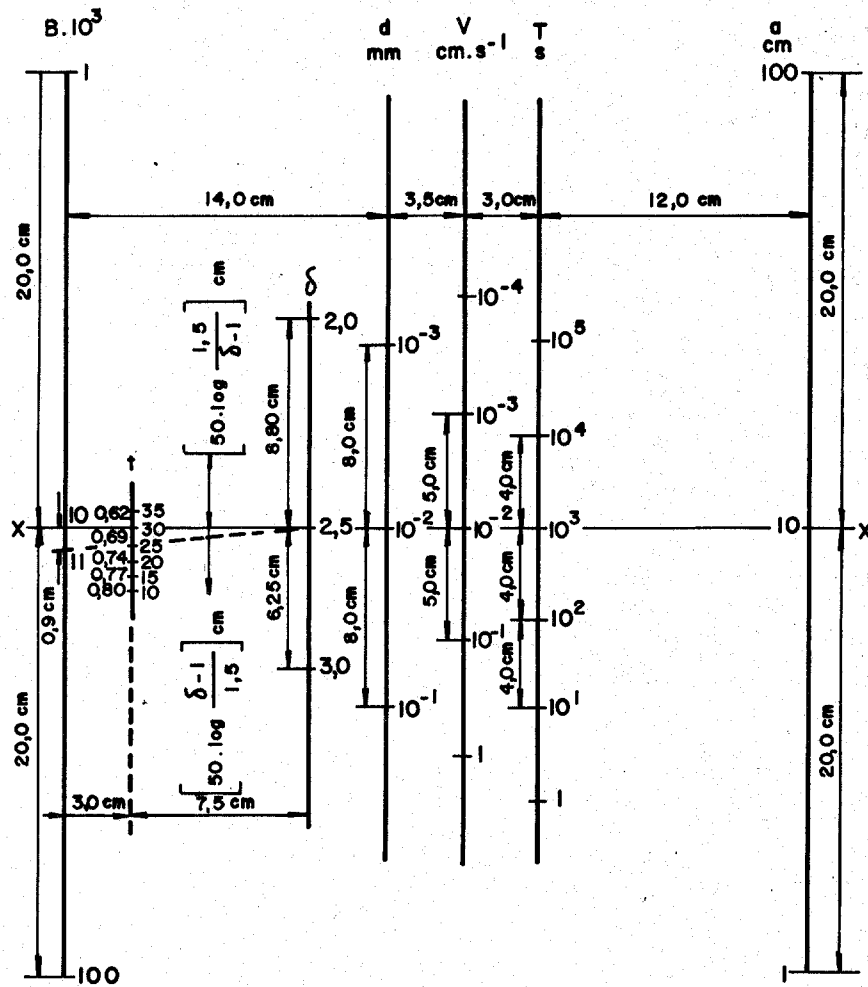


FIGURA 9 - MODO DE CONSTRUÇÃO DO NOMOGRAMA DE CASAGRANDE

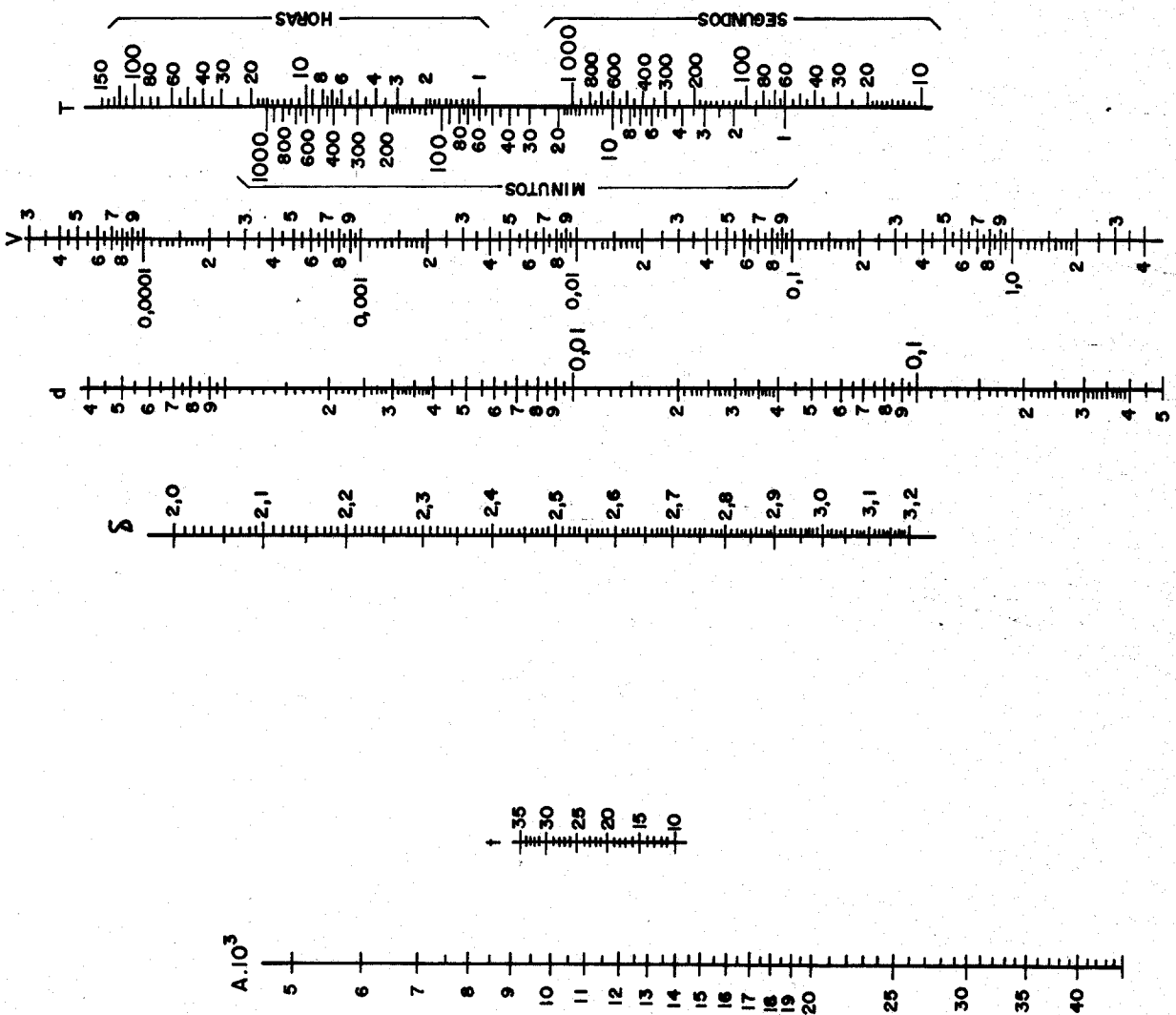
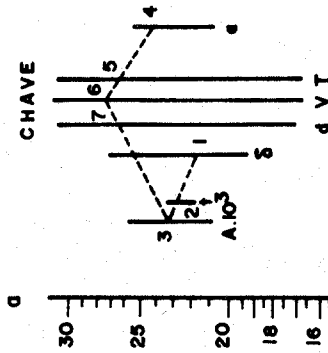
NOMOGRAMA DE CASAGRANDE PARA A RESOLUÇÃO DA LEI DE STOKES  
CÁLCULO DOS DIÂMETROS EQUIVALENTES DOS GRÃOS - MÉTODO DO DENSÍMETRO

LEI DE STOKES

$$d = \sqrt{V \cdot C}$$

$$C = \frac{1800 n}{\delta - \delta \alpha}$$

$$V = \frac{g}{T}$$



SÍMBOLOS:

- n - VISCOSIDADE DO MEIO DISPERSOR, EM g.s.cm<sup>-2</sup>
- δ - MASSA ESP REAL DO SOLO, EM g.cm<sup>-3</sup>
- δα - MASSA ESP DO MEIO DISPERSOR, EM g.cm<sup>-3</sup>
- V - VELOCIDADE DE QUEDA, EM cm.s<sup>-1</sup>
- d - DIÂMETRO DOS GRÃOS, EM mm
- t - TEMPERATURA, EM °C
- g - ALTURA DE QUEDA, EM cm
- T - TEMPO, EM s

FIGURA 10