

# 1

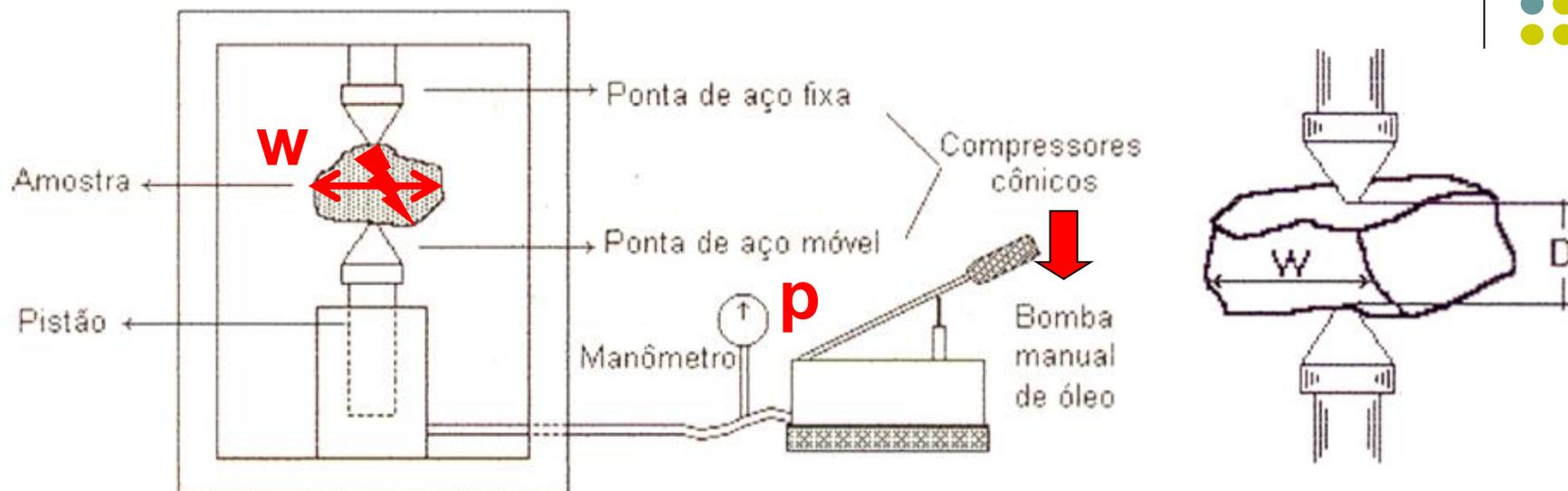
# ENSAIO DE COMPRESSÃO PUNTIFORME “CP”



## OBJETIVO

- Determinar a resistência à compressão puntiforme e estimar a resistência à compressão uniaxial, utilizando equipamento simples e portátil;
- Utiliza amostras irregulares e pedaços de testemunhos de sondagem.

## PROCEDIMENTOS BÁSICOS



- Amostra - fragmentos com dimensões entre 30 e 100 mm e com *teor de umidade natural*.
- Medir e anotar a largura ( $W$ )
- Colocar em contato compressores / c.p., ao longo do diâmetro menor ( $D$ )
- Medir a distância  $D$
- Aplicar carga até a ruptura e anotar a pressão ( $P$ )
- Repetir as operações para **20 c.p.**

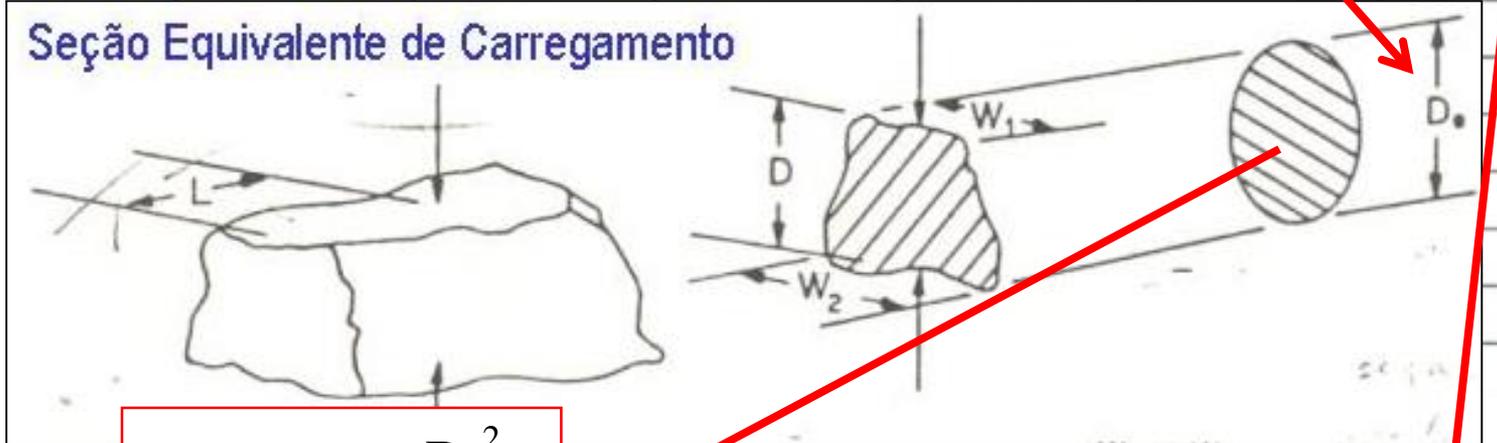
# PROCEDIMENTOS BÁSICOS





# PLANILHA DE LABORATÓRIO

AMOSTRA	D( altura) -mm-	W (largura) -mm-	P (pressão) -kg/cm <sup>2</sup> -	$D_e^2$ -mm <sup>2</sup> -	Q (força) -kN-



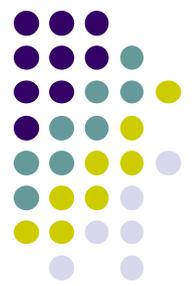
$$area = \pi \times \frac{D_e^2}{4}$$

$$D_e^2 = \frac{4}{\pi} \times area$$

$$D_e^2 = \frac{4}{\pi} \times W \times D$$

$Q(\text{força}) = f(p_{\text{manômetro}}, \text{área } \hat{\text{êmbulo}})$

Curva de Calibração:  
 $Q = 0,328p - 0,2158$

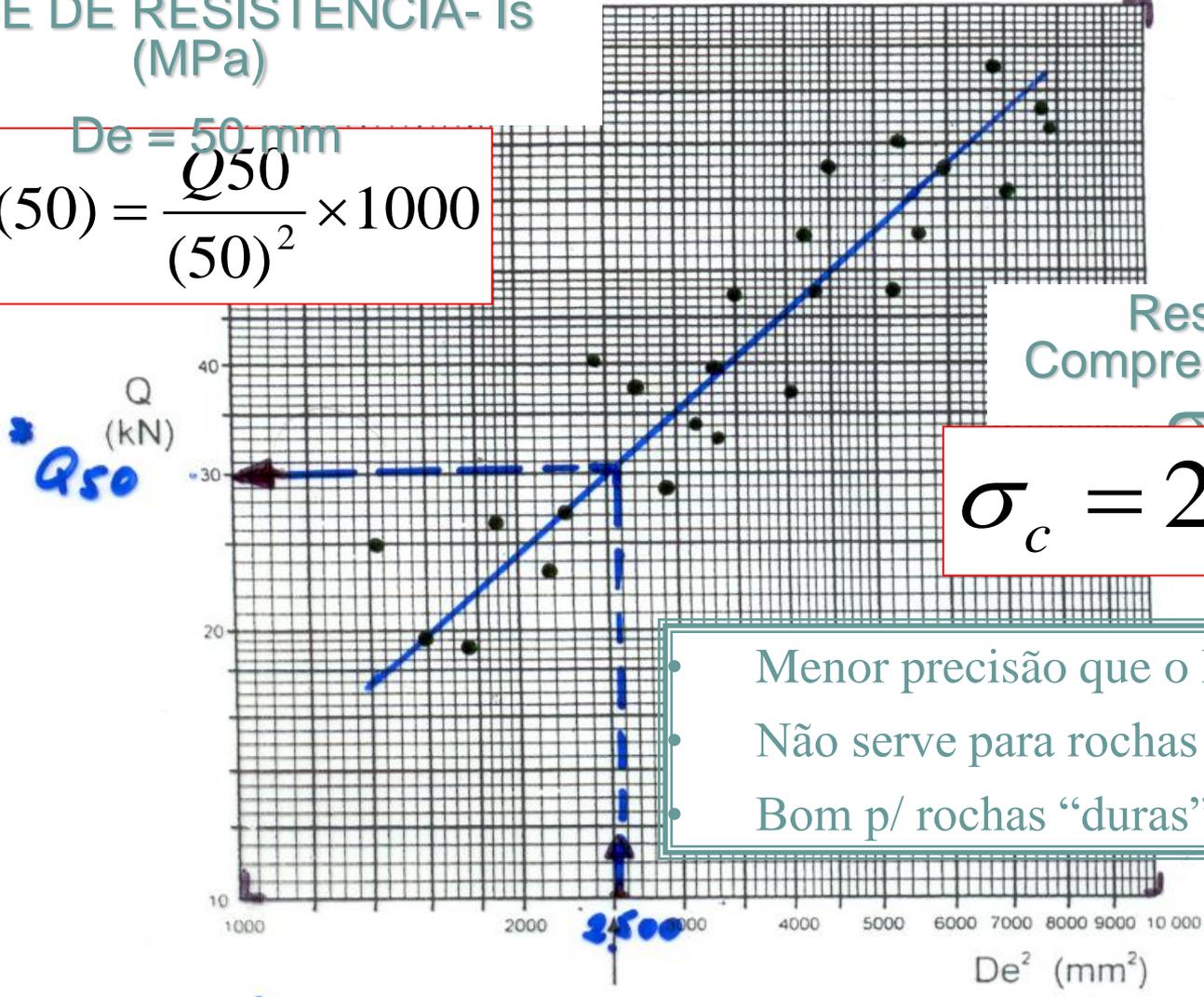


# CÁLCULOS

ÍNDICE DE RESISTÊNCIA-  $I_s$   
(MPa)

$D_e = 50 \text{ mm}$

$$I_s(50) = \frac{Q_{50}}{(50)^2} \times 1000$$



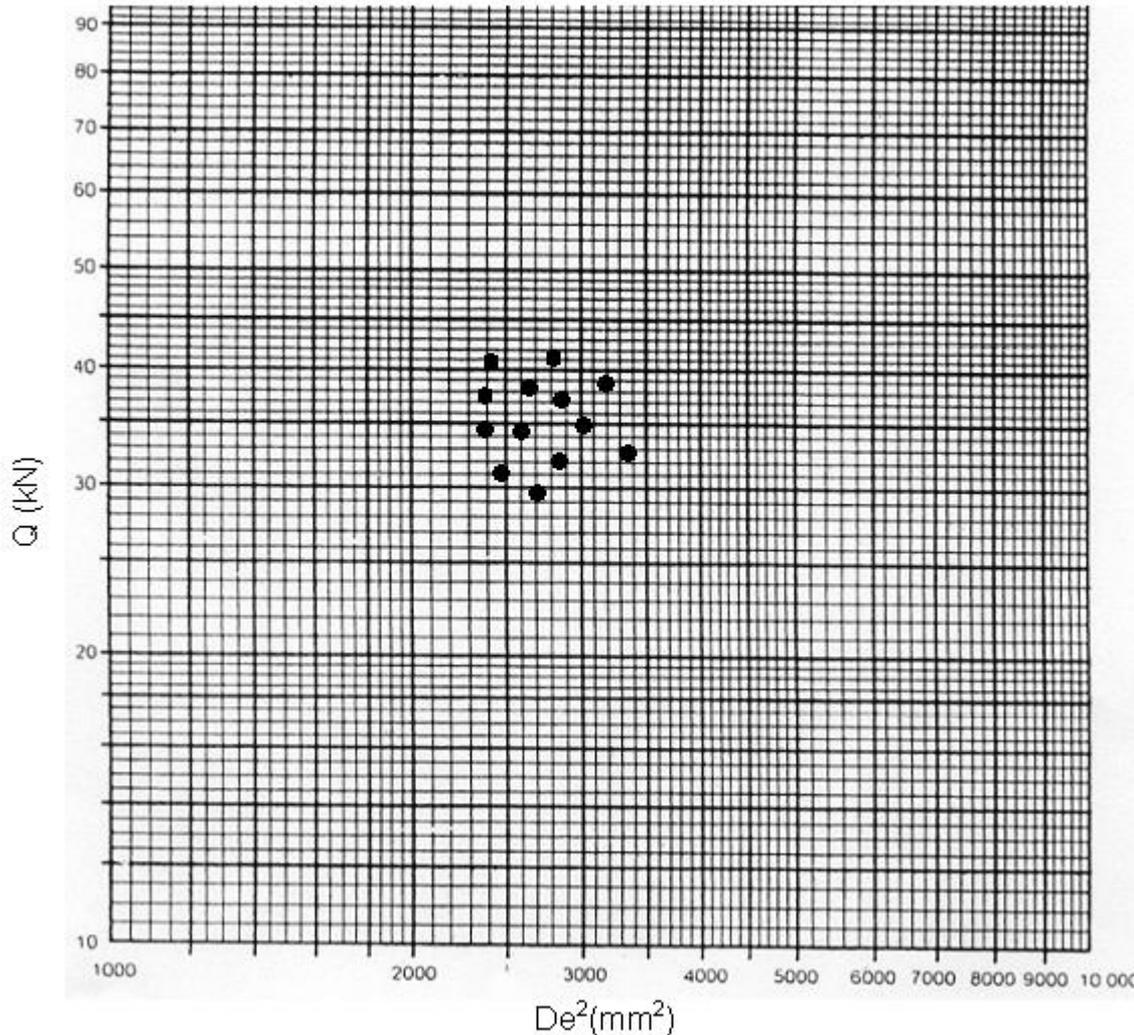
Resistência à Compressão Uniaxial -  $\sigma_c$  (MPa)

$$\sigma_c = 25 \times I_s(50)$$

- Menor precisão que o Ensaio de R.C.U.;
- Não serve para rochas “brandas”;
- Bom p/ rochas “duras” fragmentadas.

E se os valores de  $De$  forem próximos ???

Não há correlação linear !!!!



Usar a expressão para correção do valor do  $I_s$  para o valor do  $I_{S(50)}$ :

$$I_s = \frac{Q_{De}}{De^2} \cdot 1000$$

$$I_{S(50)} = I_s \left( D_e / 50 \right)^{0,45}$$

Desprezar os dois maiores e os dois menores resultados

$I_{S(50)}$  = média dos demais resultados

# 2

## ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO IMPACTO TRETON “T”



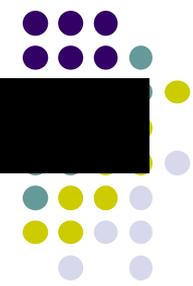
### OBJETIVO

- Estabelecimento de procedimentos simples para a determinação da resistência ao impacto;
- **Tenacidade**: resistência ao choque mecânico (corpo sólido);
- Em ***Fragmentos de rocha – agregados***;
- Em ***Placas de rocha – revestimento***.



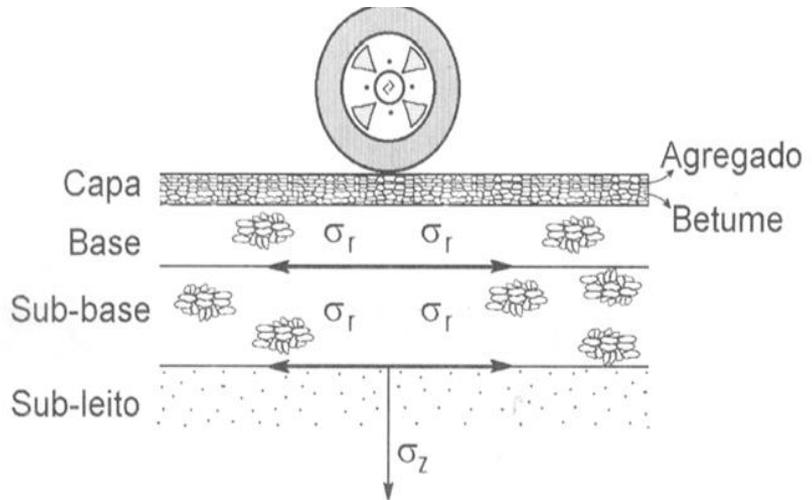
## IMPORTÂNCIA DA TENACIDADE

- **Em algumas condições de utilização nas obras de engenharia civil, os agregados são submetidos a elevadas solicitações por impacto;**
- **As placas de rocha utilizadas como revestimento, em particular como pisos, devem resistir bem à impactos para cumprirem bem sua função.**

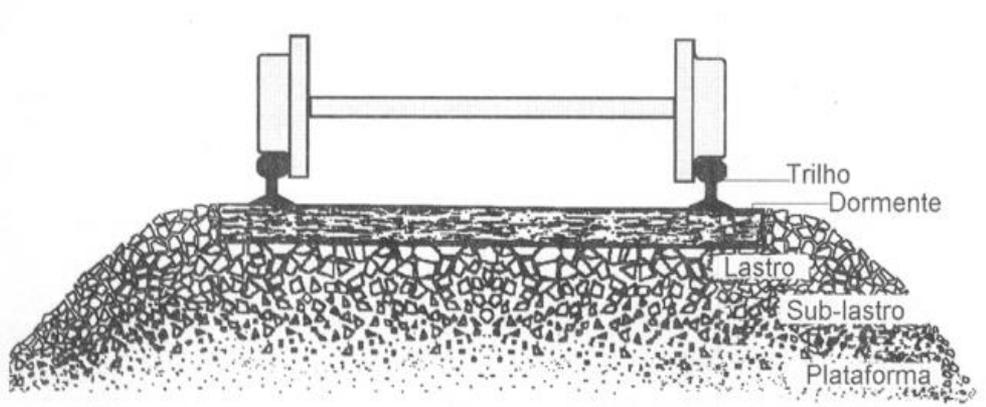


# IMPORTÂNCIA DA TENACIDADE - Fragmentos

**AEROPORTOS**  
**RODOVIAS**  
**COMPACTAÇÃO**



**PAVIMENTOS**  
**ASFÁLTICOS**



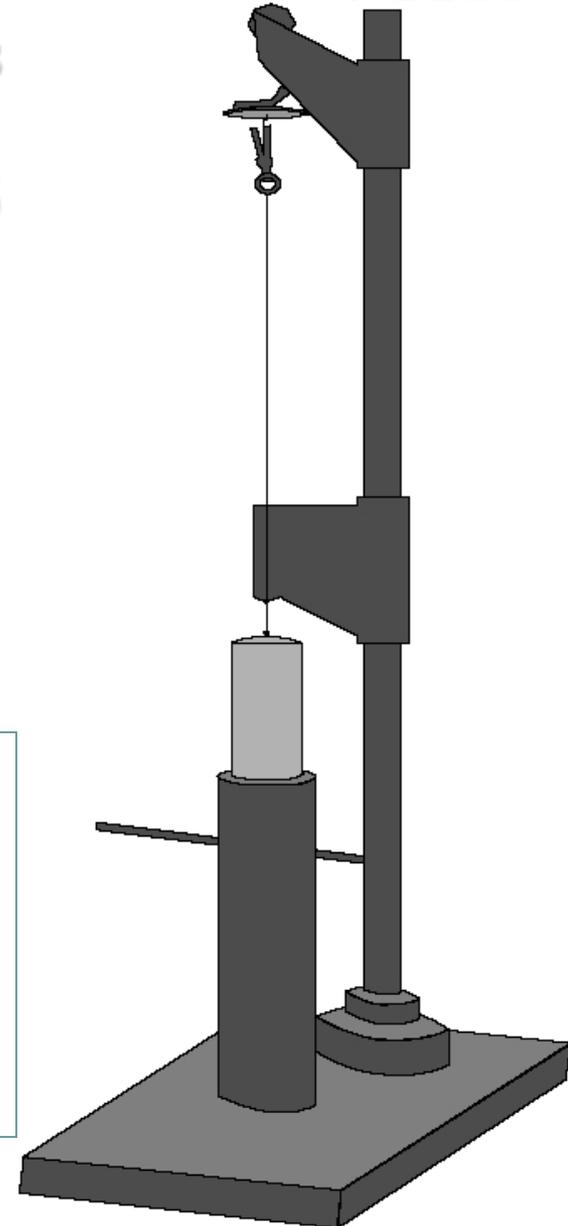
**LEITOS DE FERROVIAS**



## ● Ensaio Treton em fragmentos

- 10 a 15 frags  $5/8'' < \emptyset < 3/4''$  (15,87-19,05 mm);
- Lavagem, secagem em estufa (105°C) pesagem => **P<sub>i</sub>**;
- 10 impactos cilindro Padrão (peso = 15,583 kg; altura = 384 mm);

$$R_{IT} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 (\%)$$



# PROCEDIMENTOS DO ENSAIO



## ● Ensaio Treton em fragmentos de rocha:

Departamento de Geotecnia

Nome: \_\_\_\_\_

Nº: \_\_\_\_\_

Turma / Prof. \_\_\_\_\_

Data: / /

### ENSAIO IMPACTO TRETON

Tipo de Rocha: \_\_\_\_\_

Procedência: \_\_\_\_\_

Característica do Ensaio				
Nº de Impactos	Peso (g)	Altura da Queda (mm)	Nº de fragmentos p/ ensaio	Faixa Granulométrica
10	15.912	375	20	16 mm < Ø < 19 mm

	1ª Amostra	2ª Amostra	3ª Amostra
Peso Natural			
Peso Inicial ( $P_i$ )			
Peso Final ( $P_f$ )			
$R_{IT}$ [%]			

$R_{IT\text{MÉDIO}}$  : \_\_\_\_\_ %

## ENSAIO EQUIVALENTE AREIA

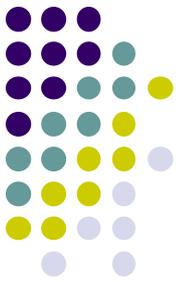
Determinar a quantidade de materiais finos presentes em agregados naturais (cascalho e areia);

## ENSAIO COM FRASCO DE CHAPMAN

Procedimentos simples (OBRA) para a determinação do *Massa Específica dos Sólidos* ( $r_s$ ), da *Umidade Superficial* ( $h$ ), e do *Coeficiente de Vazios* ( $C_v$ ) em agregados miúdos (areia grossa);

## ENSAIO DE ESMAGAMENTO

Determinar a resistência de uma determinada porção de agregados submetida a esforços compressivos (*lastro de ferrovias, pavimentos de aeroportos e rodovias, etc*);



# 3

## DETERMINAÇÃO DO EQUIVALENTE AREIA “EA”

### OBJETIVO

- **Determinar a quantidade de materiais finos presentes em agregados naturais (cascalho e areia);**
- **Método simples (obra) e confiável (precisão) – alternativa ao ensaio granulométrico;**
- **NBR12052/1992  
DNER-ME54/9797.**

# IMPORTÂNCIA



## ● Agregados em Rodovias.

ENSAIOS	USO DO AGREGADO	Revestimento		Bases e Sub-bases
		Tratamento Superficial	Pré-Misturados (Concretos Asfálticos)	
Abrasão Los Angeles		< 40%	< 40%	< 40%
Formas Lamelares		< 10%	-	< 10%
Impurezas (Pó)		Isentos	Isentos	0,48
Resistência ao Impacto Treton		< 30%	< 10%	< 10%
Equivalente Areia		-	≥ 55%	> 35%
Britada $\phi > 4,8$ mm		95%	90%	25%
Pedregulho Britado		Uma face	Uma face	Duas faces
Adesividade		> 4	> 4	-
Sanidade ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )		< 20%	< 20%	< 20%
Sanidade ( $\text{Mg}_2\text{SO}_4$ )		< 30%	< 30%	< 30%

## IMPORTÂNCIA

### ● DETERMINAÇÃO DA % DE FINOS ?

#### ● Métodos de análises granulométricas

#### convencionais:

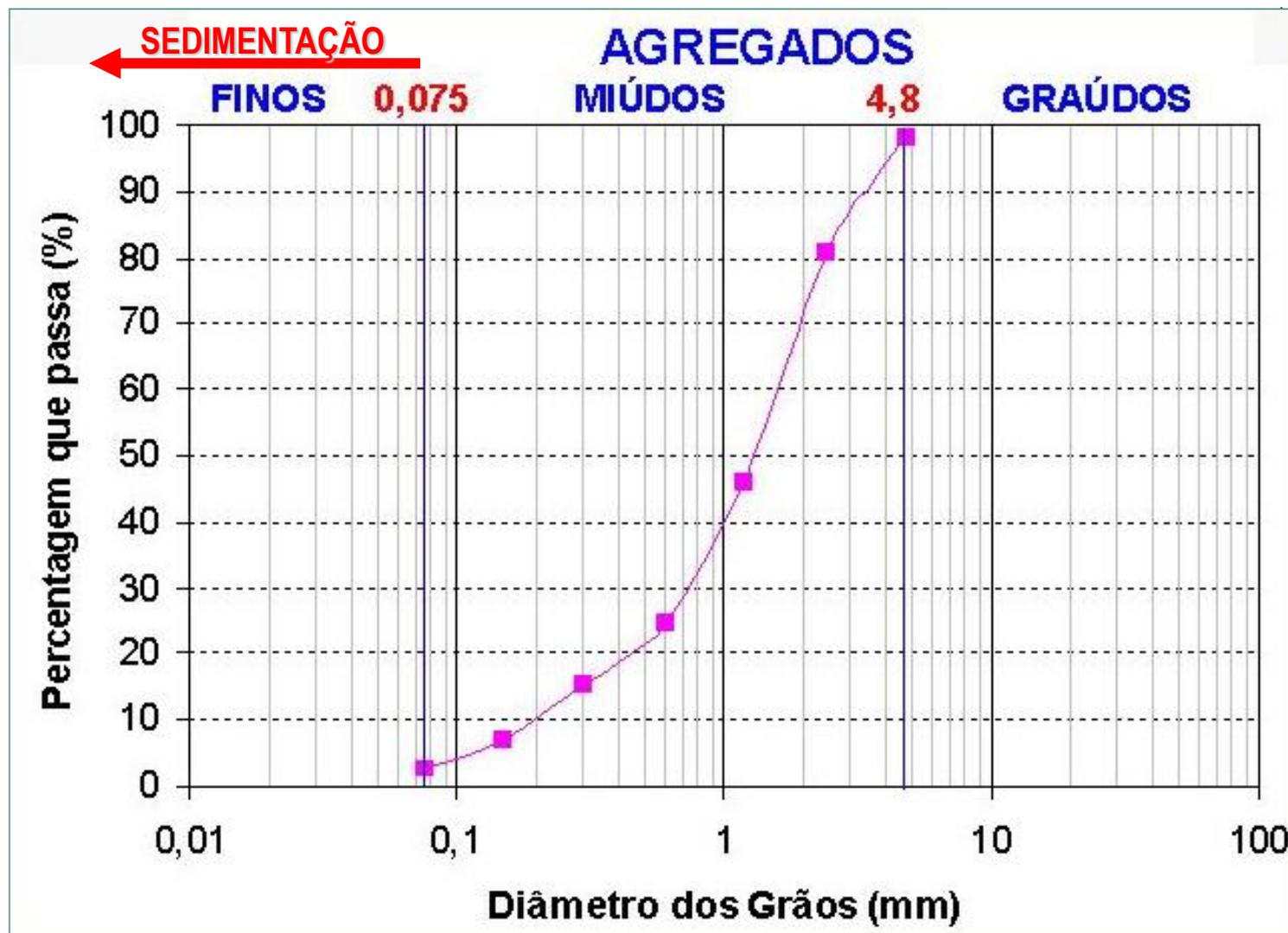
- **Custos,**
- **Tempo,**
- **Equipamentos,**
- **Laboratório,**
- **Etc.**





# IMPORTÂNCIA

## ● DETERMINAÇÃO DA % DE FINOS ?



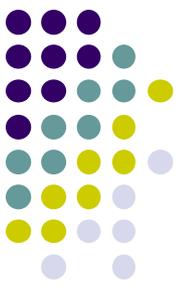
## IMPORTÂNCIA

- DETERMINAÇÃO DA % DE FINOS ?

### EQUIVALENTE DE AREIA (E.A.)

**Relação entre o nível superior de uma suspensão argilosa e o nível de areia no interior de uma proveta.**





## EQUIPAMENTOS

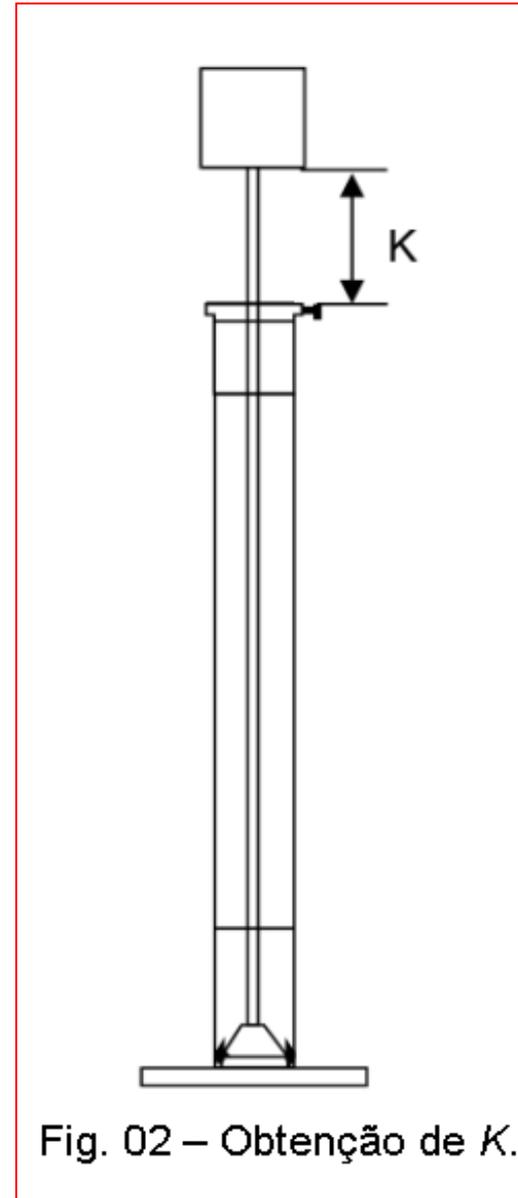
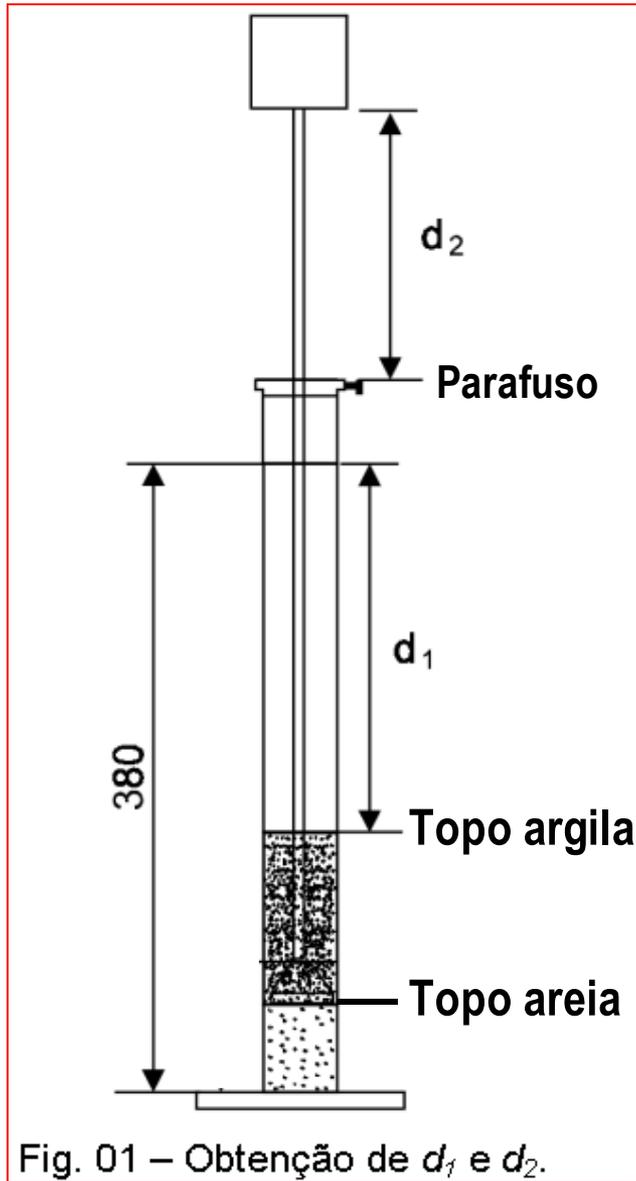
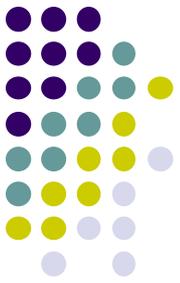
- **Peneira com abertura de 4,8mm;**
- **Proveta, tubo lavador, haste com pistão cônico;**
- **Recipiente de medida com funil;**
- **Solução Padrão: Glicerina; Cloreto de Cálcio; Solução Formaldeído; Água Destilada**
- **Solução para ensaio: 125ml da Solução Padrão + 4,875 litros de água destilada.**

## PROCEDIMENTOS DO ENSAIO



- **Amostra:** material passante na peneira  $\phi < 4,8\text{mm}$  (agregado miúdo);
- Solução de ensaio na proveta até a altura de 10cm;
- Introduzir uma cápsula c/ areia ( $\pm 110\text{g}$ ) utilizando o funil;
- Bater no fundo da proveta para eliminar as bolhas;
- Deixar em repouso por 10 minutos;
- Tampar a proveta e agitar horizontalmente com deslocamento de 20cm, com 90 ciclos em 30 segundos;
- Lavar com solução de ensaio as paredes e no fundo para separar os finos, enchendo a proveta até o nível de 38cm;
- Deixar em repouso por 20 minutos;
- Realizar as medidas d1 e d2 - **Figura 01**;
- Obter a medida K (proveta vazia) - **Figura 02**.

# PROCEDIMENTOS DO ENSAIO





# PROCEDIMENTOS DO ENSAIO

Departamento de Geotecnia

Nome : \_\_\_\_\_ Nº : \_\_\_\_\_

Turma / Prof.: \_\_\_\_\_ Data : \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

## EQUIVALENTE AREIA

Características da Amostra	
Tipo de Material	Procedência

$d_1$ (mm)	$d_2$ (mm)	K

$E.A. =$  \_\_\_\_\_ %

$$EA = \frac{d_2 - K}{380 - d_1} \cdot 100 \quad [\%]$$

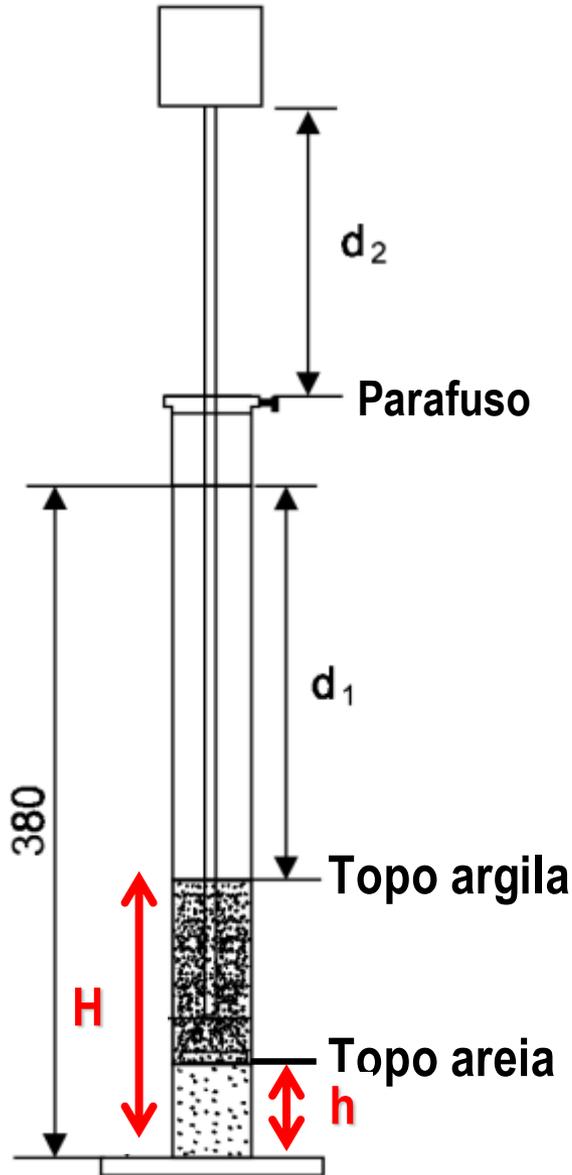


Fig. 01 – Obtenção de  $d_1$  e  $d_2$ .

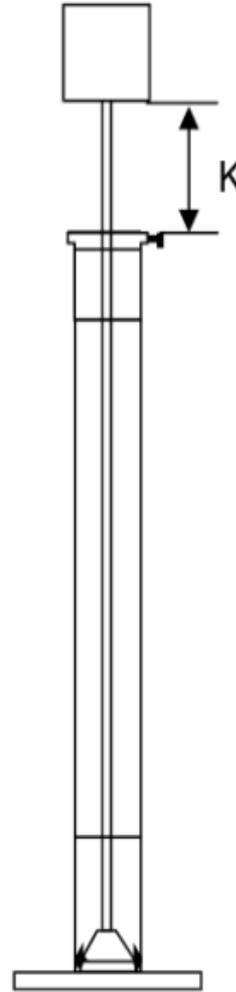


Fig. 02 – Obtenção de  $K$

$$1- EA = \frac{h}{H} \times 100 (\%)$$

$$2- d_2 = K + h$$

$$h = d_2 - K$$

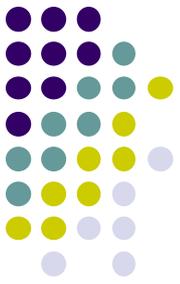
$$3- H + d_1 = 380$$

$$h = 380 - d_1$$

$$EA = \frac{d_2 - K}{380 - d_1} \times 100 (\%)$$

# 4

## ENSAIOS COM FRASCO DE CHAPMAN “CHA”



### OBJETIVO

- Procedimentos simples (OBRA) para a determinação do *Massa Específica dos Sólidos* ( $\rho_s$ ), da *Umidade Superficial* ( $h$ ), e do *Coefficiente de Vazios* ( $C_v$ ) em agregados miúdos (areia grossa);
- NBR 9775/1987  
DNER-ME 194/98.

# IMPORTÂNCIA



- **Determinar a resistência de uma determinada porção de agregados submetida a esforços compressivos (lastro de ferrovias, pavimentos de aeroportos e rodovias, etc);**

**Cimento portland** é a denominação convencionalmente mundialmente para o material usualmente conhecido na construção civil como *cimento*.

O cimento portland é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob ação da água. Depois de endurecido, mesmo que seja novamente submetido à ação da água, o cimento portland não se decompõe mais.

O cimento portland, misturado com água e outros materiais de construção, tais como a areia, a pedra britada, o pó-de-pedra, a cal e outros, resulta nos concretos e nas argamassas usadas na construção de casas, edifícios, pontes, barragens etc.

ABNT6502/95

 $(\phi = \text{MM})$ 

ARGILA

0,002

SILTE

0,06

FINA

0,2

MÉDIA

0,6

GROSSA

2,0

PEDREGULHO

AREIA



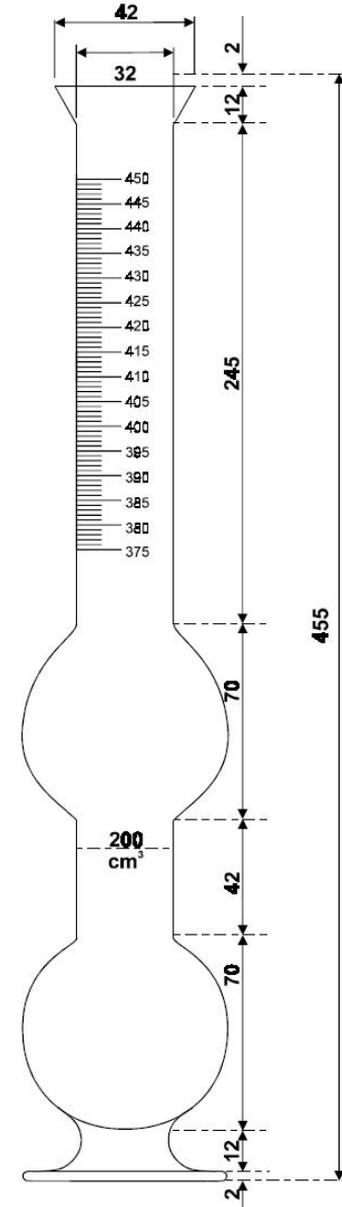
## VANTAGENS DO ENSAIO



- **Facilidade e rapidez nas determinações dos parâmetros;**
- **Precisão aceitável para os trabalhos de engenharia;**
- **Execução na própria obra (equipamento portátil);**
- **Não necessita de técnico especializado.**

## EQUIPAMENTOS

- Frasco de Chapman;
- Balança com capacidade de 1 kg e precisão de 1 g;



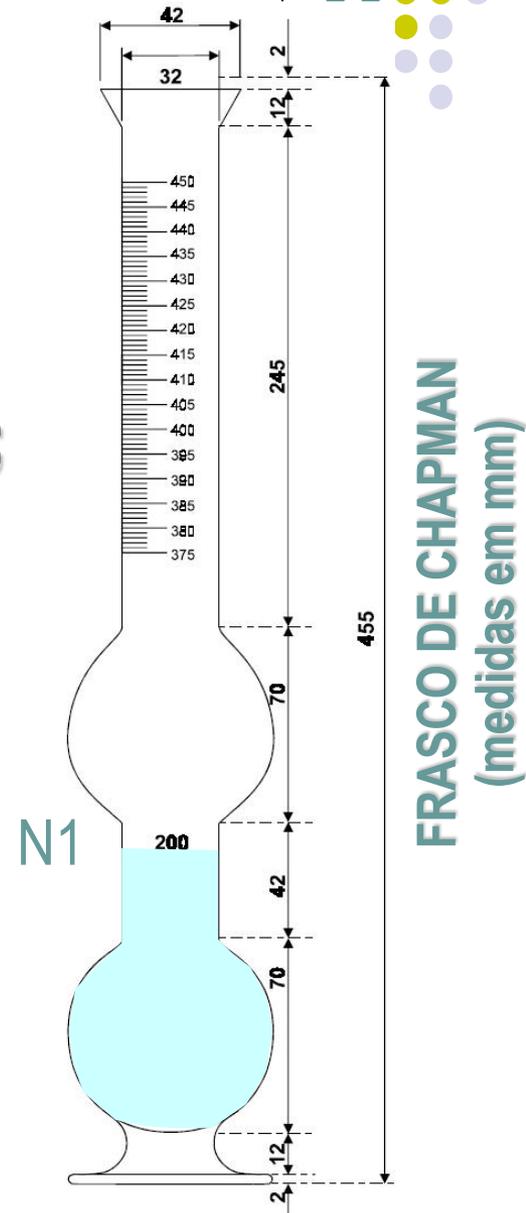
FRASCO DE CHAPMAN  
(medidas em mm)



# PROCEDIMENTOS DO ENSAIO

## 1. Massa Específica dos Sólidos ( $\rho_s$ )

- Amostra: 500 g de areia seca em estufa até a constância do peso;
- Colocar água no frasco de Chapman até a marca de 200ml (entre os dois bulbos);
- Introduzir amostra de areia seca (500 g);
- Agitar para eliminar as bolhas;
- Fazer a leitura do nível da água do agregado (L).



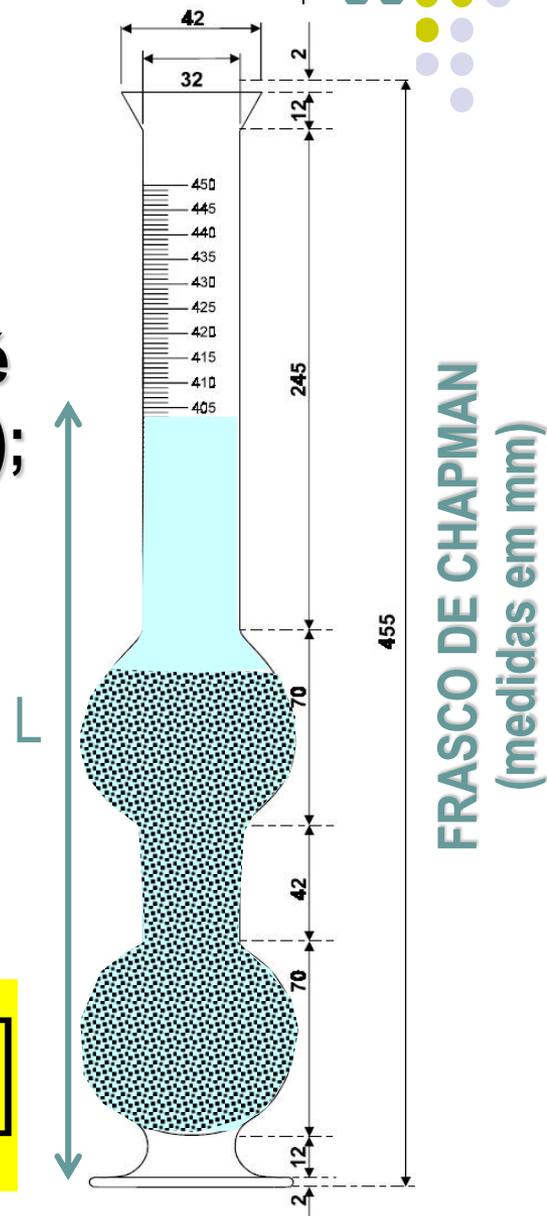
# PROCEDIMENTOS DO ENSAIO

## 1. Massa Específica dos Sólidos ( $\rho_s$ )

- Amostra: 500 g de areia seca em estufa até a constância do peso;
- Colocar água no frasco de Chapman até a marca de 200ml (entre os dois bulbos);
- Introduzir amostra de areia seca (500 g);
- Agitar para eliminar as bolhas;
- Fazer a leitura do nível da água do agregado (L).

$$\rho_s = \frac{M_s}{V_s}$$

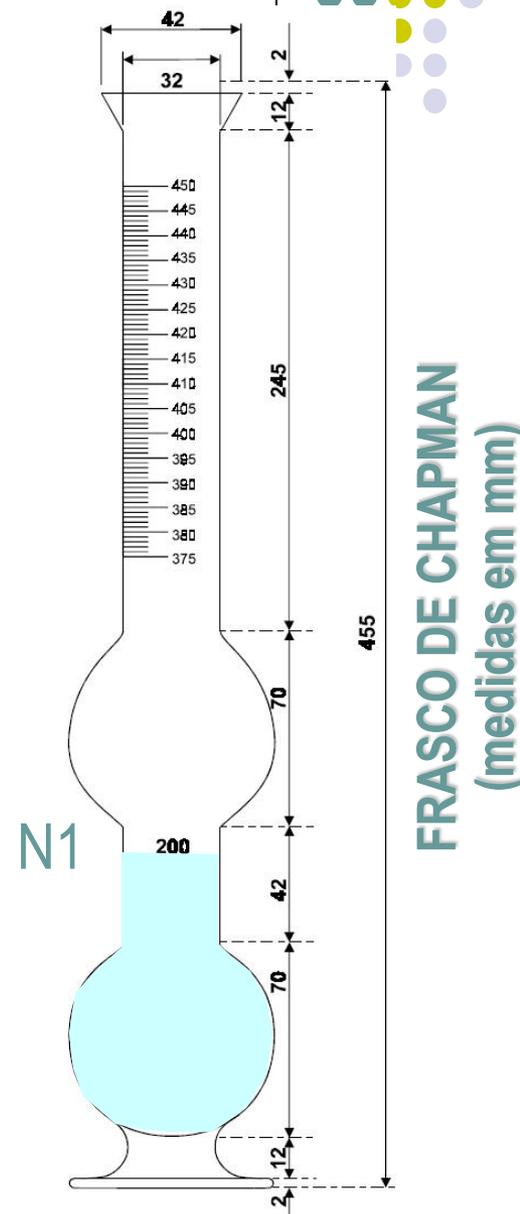
$$\rho_s = \frac{500}{L - 200} \quad [g / cm^3]$$



# PROCEDIMENTOS DO ENSAIO

## 2. Umidade Superficial (h)

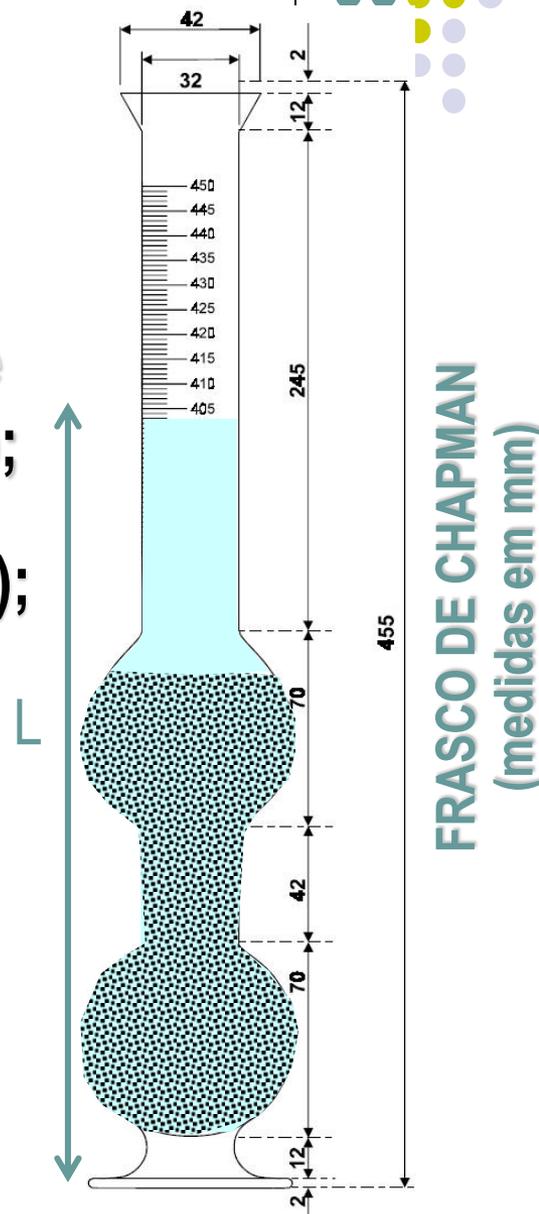
- Amostra: 500 g de areia com a umidade natural;
- Colocar água no frasco de Chapman até a marca de 200ml (entre os dois bulbos);



# PROCEDIMENTOS DO ENSAIO

## 2. Umidade Superficial (h)

- **Amostra: 500 g de areia com a umidade natural;**
- **Colocar água no frasco de Chapman até a marca de 200ml (entre os dois bulbos);**
- **Introduzir amostra de areia úmida (500 g);**
- **Agitar para eliminar as bolhas;**
- **Fazer a leitura do nível da água do agregado (L).**



## 2. Umidade Superficial (h)

$$h = \frac{M_w}{M_s} \times 100(\%)$$

$$1) M_s = 500 - M_w$$

$$2) L = 200 + V_s + V_w$$

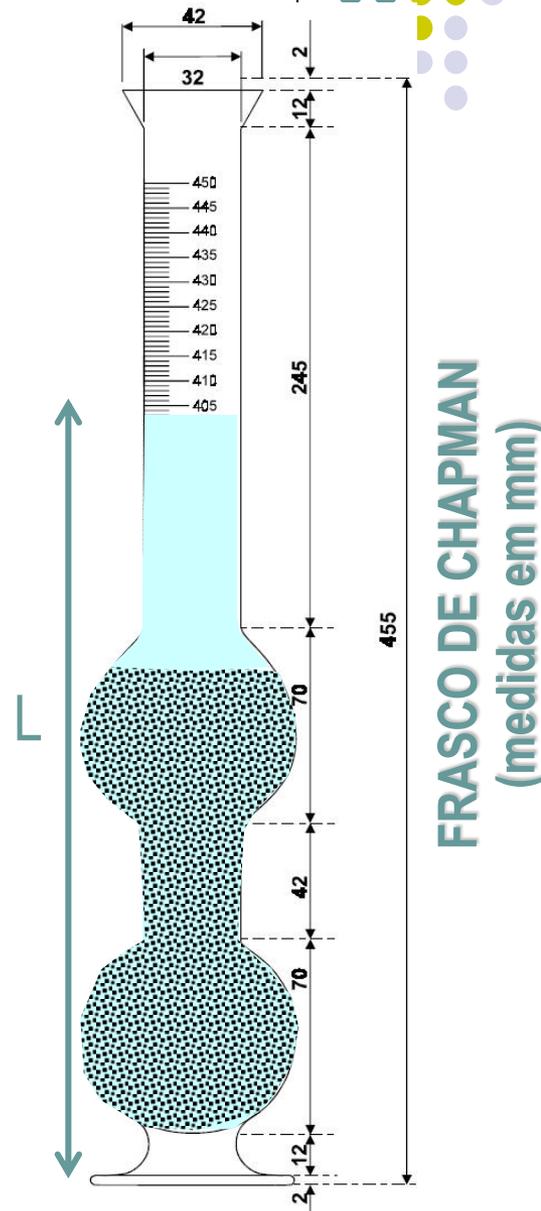
$$3) V_w = L - 200 - V_s$$

$$4) \frac{M_w}{\rho_w} = L - 200 - \frac{500 - M_w}{\rho_s}$$

$$5) \frac{M_w}{\rho_w} = \frac{(L - 200)\rho_s - 500 + M_w}{\rho_s}$$

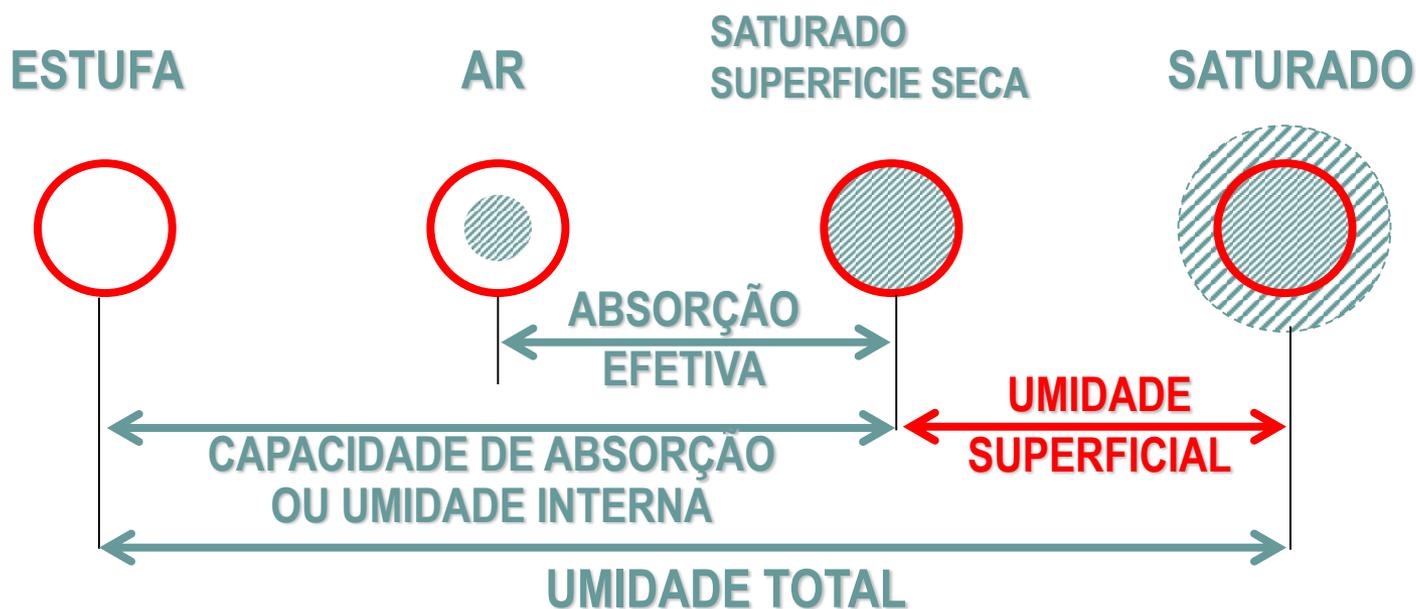
$$6) M_w = \frac{(L - 200)\rho_s \cdot \rho_w - 500\rho_w}{\rho_s - \rho_w}$$

$$h(\%) = \frac{M_w}{500 - M_w} \times 100$$



# ENSAIO DE UMIDADE SUPERFICIAL

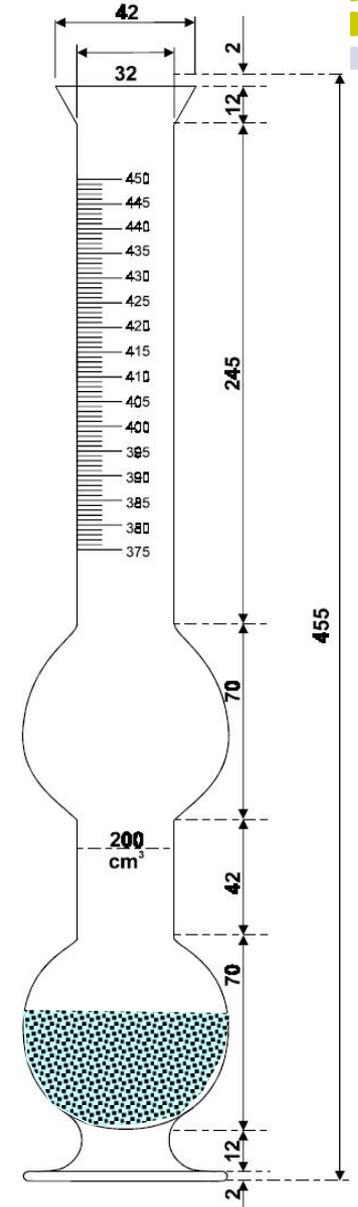
- CORREÇÃO DA QUANTIDADE DE ÁGUA PARA FAZER A MASSA (CIMENTO + AGREGADO MIÚDO = AREIA);
- CORREÇÃO DA QUANTIDADE DE AGREGADO MIÚDO (AREIA) EM PESO OU VOLUME.



# PROCEDIMENTOS DO ENSAIO

## 3. Coeficiente de vazios ( $C_v$ ) – Porosidade

- **Amostra:** 500 g de areia seca;
- Determinar o peso do frasco seco (**PS**);
- Colocar aproximadamente 100ml de água (metade do bulbo inferior);
- Colocar areia seca cuidadosamente até a coincidência dos níveis de água e areia, tomando cuidado para não ocorrer a diminuição dos vazios pela compactação;



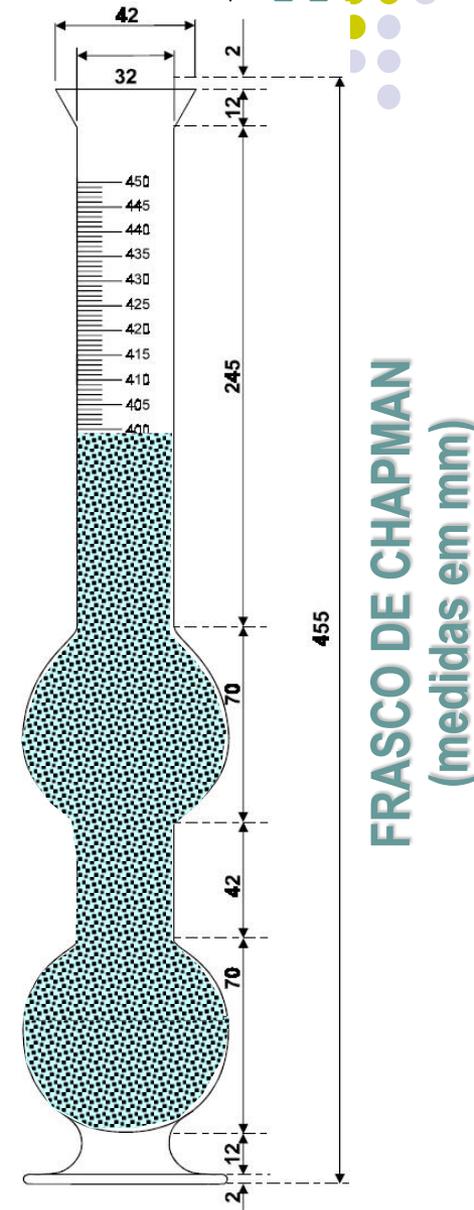
FRASCO DE CHAPMAN  
(medidas em mm)



# PROCEDIMENTOS DO ENSAIO

## 3. Coeficiente de vazios ( $C_v$ ) – Porosidade

- **Amostra:** 500 g de areia seca;
- Determinar o peso do frasco seco (**PS**);
- Colocar aproximadamente 100ml de água (metade do bulbo inferior);
- Colocar areia seca cuidadosamente até a coincidência dos níveis de água e areia, tomando cuidado para não ocorrer a diminuição dos vazios pela compactação;
- Adicionar alternadamente água e areia em pequenos volumes até a coincidência dos níveis na marca de 400ml;
- Pesar todo o conjunto: **Frasco + Areia + Água (PT)** e obter o peso de 400ml de areia inundada ( $P = PT - PS$ ).



# PROCEDIMENTOS DO ENSAIO

## 3. Coeficiente de vazios ( $C_v$ ) – Porosidade da areia inundada

$$C_v = \frac{V_v}{V_t} \times 100 (\%)$$

$$V_t = 400 \text{ ml}$$

$$V_v = V_w (\text{inundada})$$

$$1) M_t = M_s + M_w$$

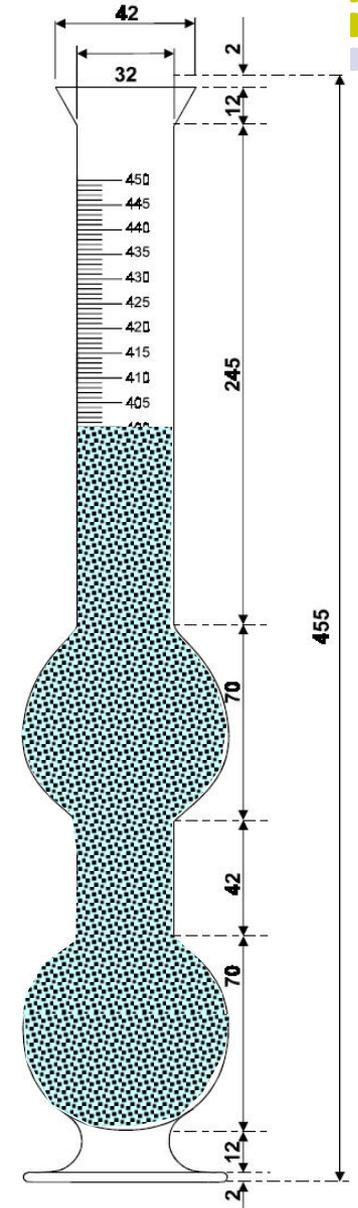
$$2) M_t = \rho_s \times V_s + \rho_w \times V_w$$

$$3) V_s = 400 - V_w$$

$$4) P = \rho_s(400 - V_w) + \rho_w \times V_w$$

$$5) V_w = \frac{400\rho_s - P}{\rho_s - \rho_w}$$

$$C_v(\%) = \frac{V_w}{400} \times 100$$



FRASCO DE CHAPMAN  
(medidas em mm)



# PROCEDIMENTOS DO ENSAIO

*Departamento de Geotecnia*

Nome : \_\_\_\_\_ Nº : \_\_\_\_\_

Turma/ Prof.: \_\_\_\_\_ Data : \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

## FRASCO DE CHAPMAN

Características da Amostra	
Tipo de Material	Procedência

**Peso Específico Real ( $\gamma_r$ )**

$L$	$\gamma_r$ (g/cm <sup>3</sup> )

**Umidade Superficial ( $H$ )**

$L$	$H$ (%)

**Coefficiente de Vazios ( $C_v$ )**

$P_T$	$P_S$	$P$	$C_v$ (%)

**Apresentar  
memória de  
cálculo**

# 5

## ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO ESMAGAMENTO “ESM”



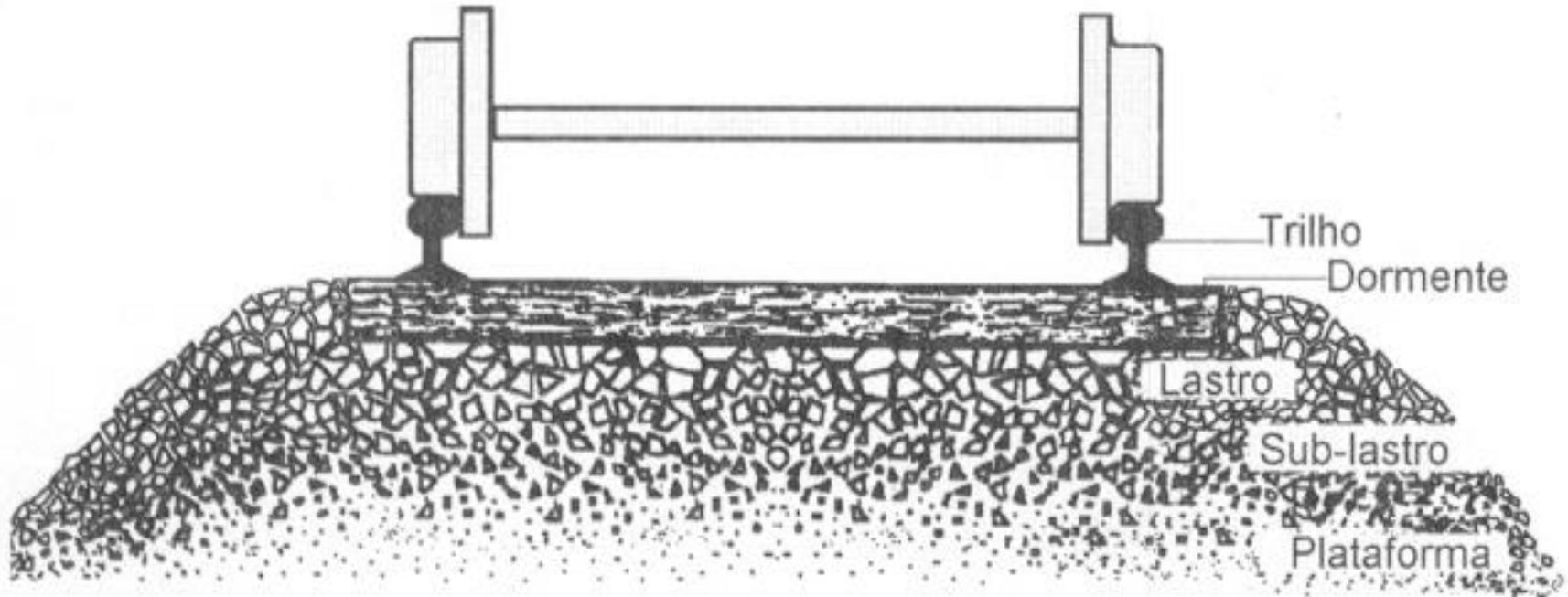
### OBJETIVO

- **Determinar a resistência de uma determinada porção de agregados submetida a esforços compressivos (lastro de ferrovias, pavimentos de aeroportos e rodovias, etc);**
- **Método DNER ME 197/97.**



## **IMPORTÂNCIA**

- **Caracterizar agregados que são submetidos a elevados esforços de compressão: *Lastro de Ferrovias*.**

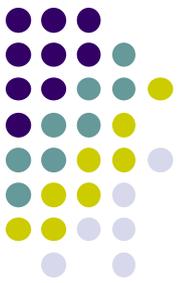


***FUNÇÃO: DISTRIBUIR AS CARGAS UNIFORMEMENTE***

# IMPORTÂNCIA

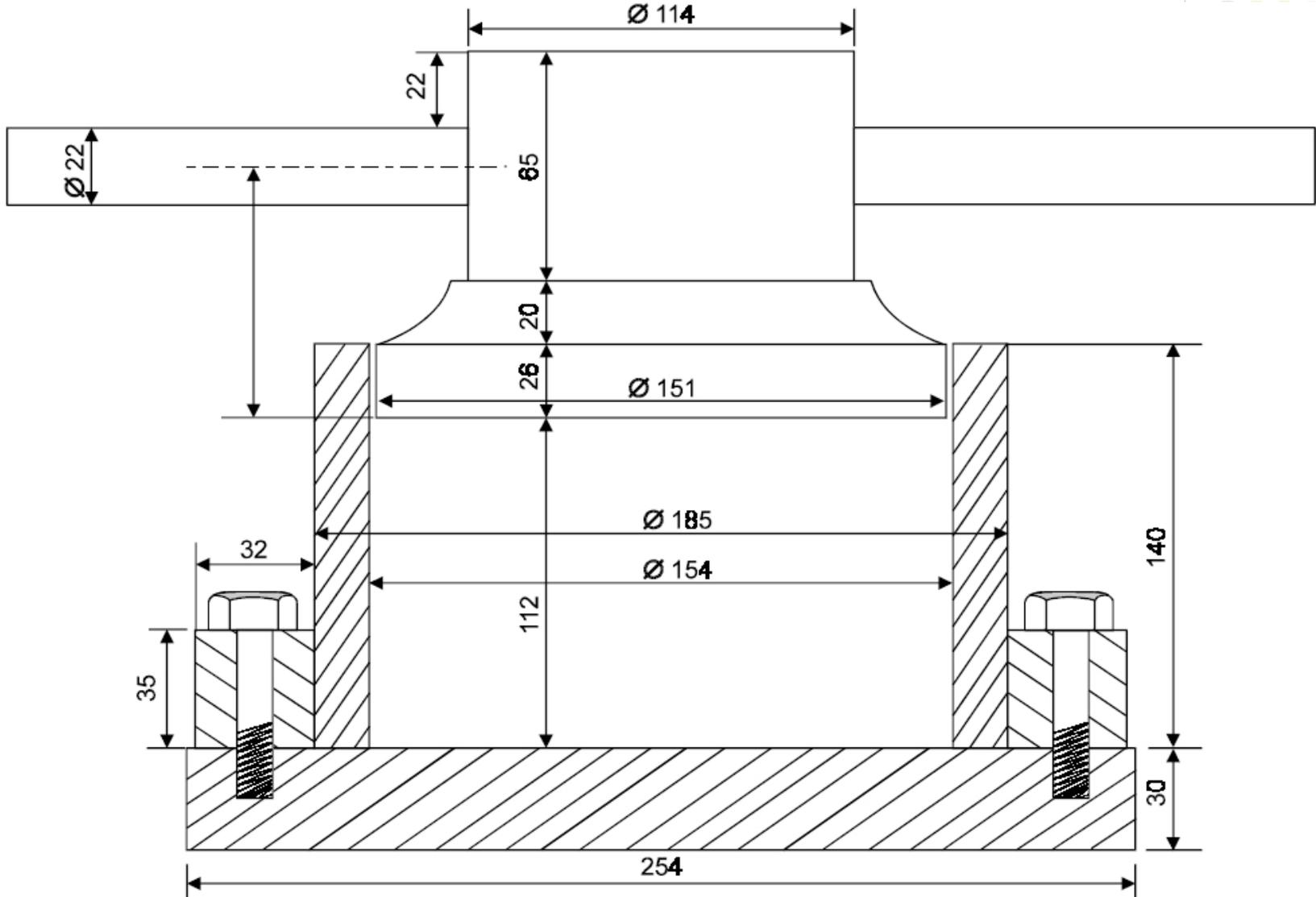
## *Agregados em Lastros de Ferrovia:*

- ALTA TENACIDADE – SUPORTAR IMPACTOS
- ALTA RESISTÊNCIA AO DESGASTE
- ALTA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO
- **ALTA RESISTÊNCIA AO ESMAGAMENTO**
- *FORMA ADEQUADA (CÚBICA)*
- *ESTABILIDADE QUÍMICA (MINERAIS/ INTEMPERISMO)*



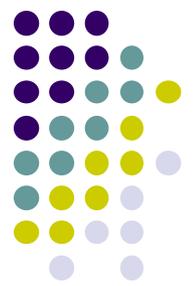


# EQUIPAMENTOS

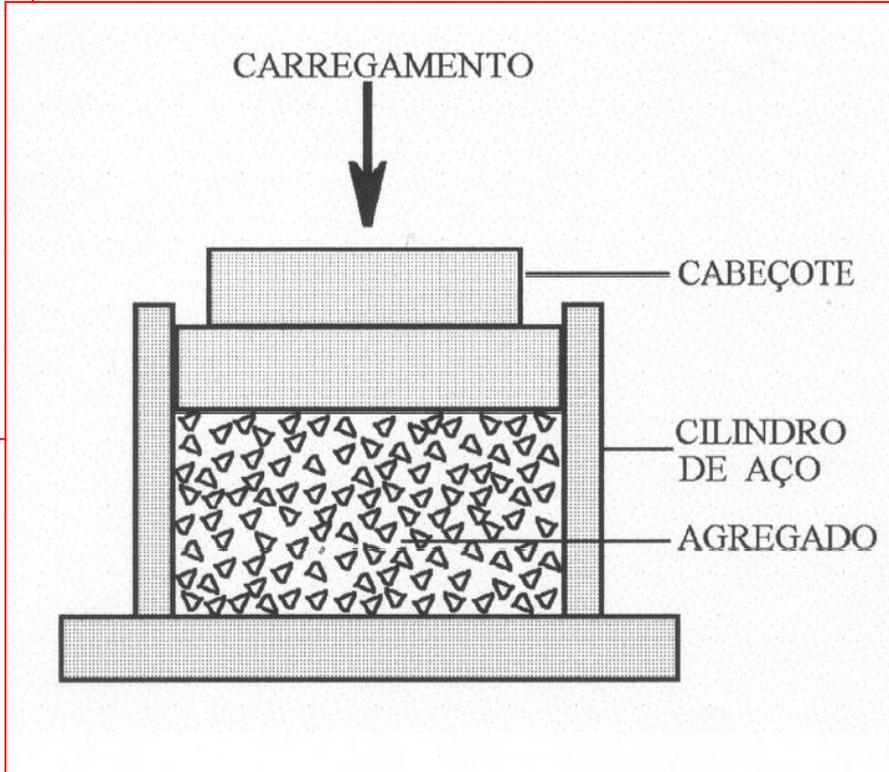
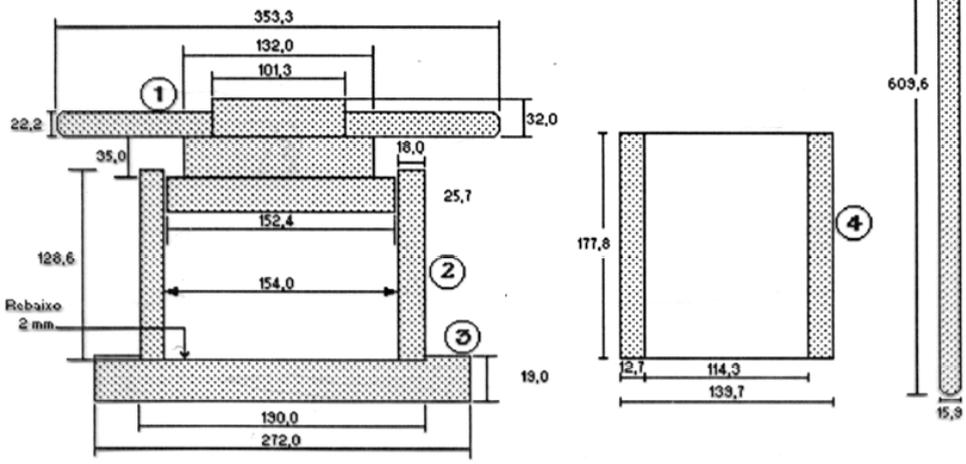


Dimensões em mm

# PROCEDIMENTOS DO ENSAIO



- ① - Êmbolo para compressão
- ② - Cilindro de ensaio
- ③ - Prato base
- ④ - Recipiente cilíndrico para medidas
- ⑤ - Haste de socamento



## PROCEDIMENTOS DO ENSAIO



- **Preparação da amostra:**
  - **Fragmentos com  $12,7 > \phi > 9,5$  mm;**
  - **03 camadas compactadas no cilindro;**
  - **25 golpes para cada camada, com o auxílio da haste cilíndrica;**
  - **Peso determinado (**Pa**) e inserção no cilindro do ensaio e posicionamento do êmbolo compressivo;**
- **Colocação do conjunto na prensa e aplicação de uma carga total de 400kN (40kN/minuto);**
- **Atingida a carga, o material deve ser retirado e peneirado ( $\phi = 2,4$ mm);**
- **Pesagem do material retido (**P'a**).**





# PROCEDIMENTOS DO ENSAIO

**Departamento de Geotecnia**

Laboratório de Geologia de Engenharia - SGS400

Nome : \_\_\_\_\_

Nº : \_\_\_\_\_

Turma / Prof.: \_\_\_\_\_

Data : \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

## RESISTÊNCIA AO ESMAGAMENTO

Características da Amostra				
Tipo de Rocha	Grupo Rochoso	Procedência	Classificação	Faixa Granulométrica
				9,5 mm < Ø < 12,7 mm

	1ª Amostra	2ª Amostra
Peso Antes ( $P_a$ )		
Peso Após ( $P'_a$ )		
$R_E$ [%]		

$R_{E \text{ MÉDIO}}$  : \_\_\_\_\_ %

$$R_E = \frac{P_a - P'_a}{P_a} \cdot 100 \quad [\%]$$

**Apresentar  
memória de  
cálculo**



# ANÁLISE DOS RESULTADOS

**TABELA 3 – Valores de referência para os ensaios de caracterização de agregados para diferentes usos em obras civis.**

USOS ENSAIOS	Concreto Cimento Portland	Pavimento	Lastro Ferroviário	Enrocamento	Rip-Rap		
Granulometria (mm)	0,15 a 50	pedrisco a 63	25 a 63	50 a matacões	50 a matacões		
Impurezas (%)	Reativos < 3% Orgânicos < 1% Pulvulentos < 5%	Pó de pedra < 2% Argila < 1% M. Orgânica < 1%	Pulvulento < 1% Torrões Argila < 0,5% Frag. Friáveis < 5%	<10%	< 5%		
Massa específica aparente seca (g/cm³)	> 2,5	> 2,5	> 2,5	> 2,0	> 2,5		
Porosidade aparente (%)	< 2%	< 2%	< 2%	< 4%	< 2%		
Absorção d'água (%)	< 1%	< 1%	< 1%	< 2%	< 1%		
Forma média do fragmento	Cúbica	Cúbica	Cúbica	Cúbica	Cúbica		
Resistência à Abrasão Los Angeles	< 50% (1) < 40% (2)	< 50% base < 40% superfície	< 40%	< 50%	< 40%		
Resistência à Compressão Simples Uniaxial (MPa)	100	140	100	Altura	Resistência	Altura	Resistência
				< 20m	28-35	< 20m	28-50
				20 a 60	35-45	20 a 60	50-60
				> 60 m	45-60	> 60 m	60-80
Resistência ao Esmagamento (%)	< 45% (1) < 30% (2)	< 30%	< 20%	< 30%	< 20%		
Resistência ao Impacto Treton (%)	< 45% (1) < 30% (2)	< 30%	< 20%	< 30%	< 20%		

(1) – Não sujeitos a intenso desgaste.

(2) – Sujeitos a intenso desgaste.



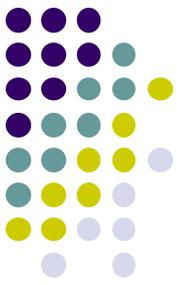
# 6

## ENSAIO DE FORMA DE AGREGADOS

### OBJETIVO

- **Estabelecimento de procedimentos simples para a determinação da forma média dos fragmentos de rocha britada e pedregulho (*uso como agregados, particularmente no concreto*);**
- **Método IPT M-49.**

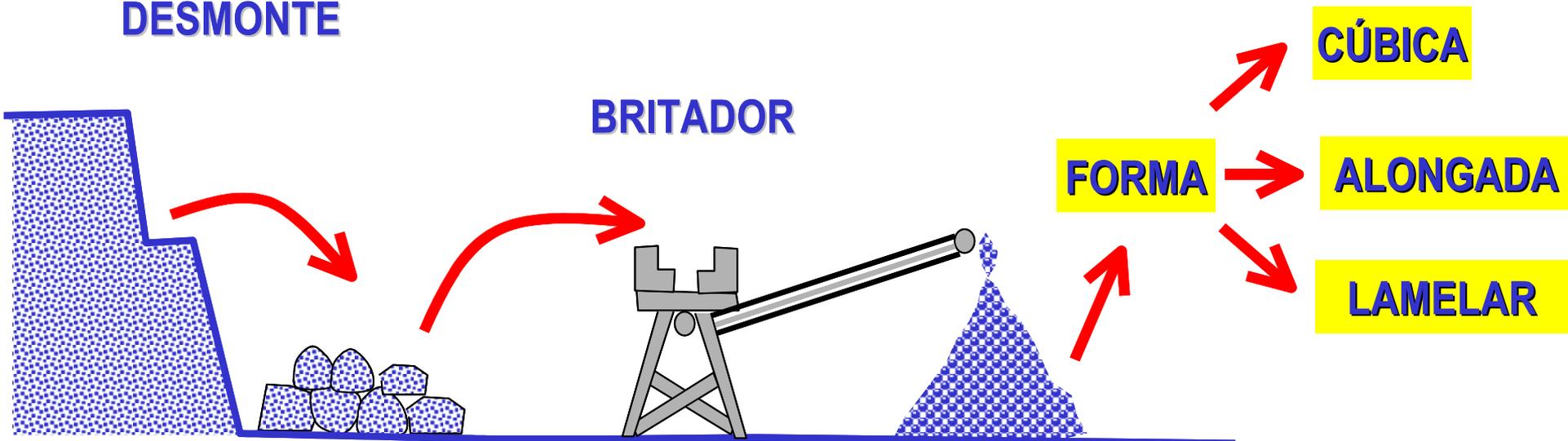
## FORMA DOS AGREGADOS



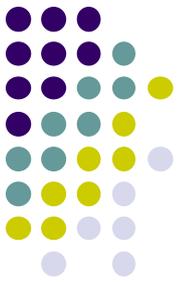
- Forma depende do grupo rochoso do agregado;
- Os processos de obtenção de agregados a partir de desmonte rochoso e britagem (pedreiras) podem gerar fragmentos com três grupos de formas principais: *Cúbica*, *Alongada* e *Lamelar*;

DESMONTE

BRITADOR



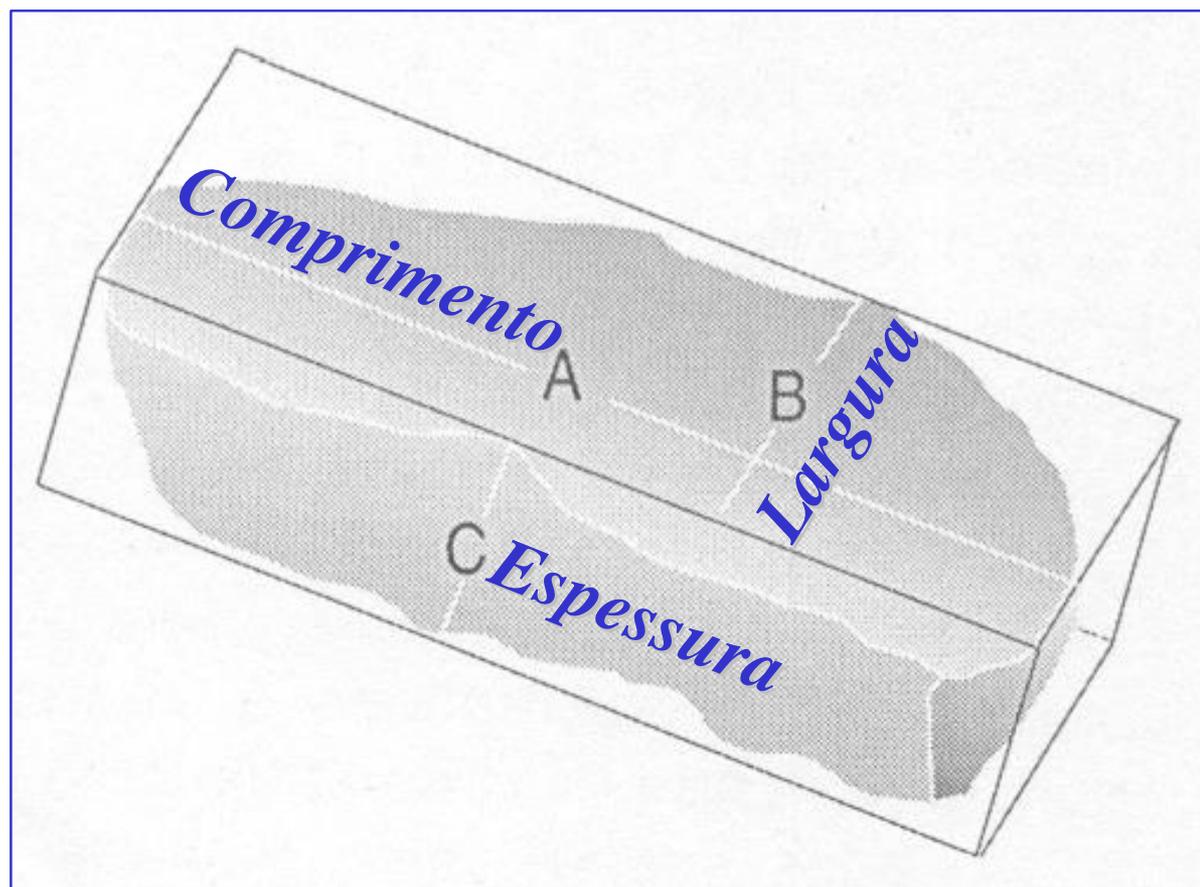
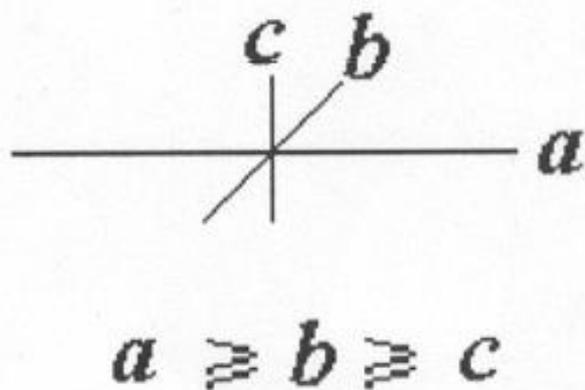
## FORMA DOS AGREGADOS



- **Grupo rochoso, em particular seu tipo de estrutura:**
  - *Maciça => Cúbica;*
  - *Xistosa => Alongada/Lamelar.*
- **Fração granulométrica => frações mais finas tendem a ser mais alongadas e lamelares.**

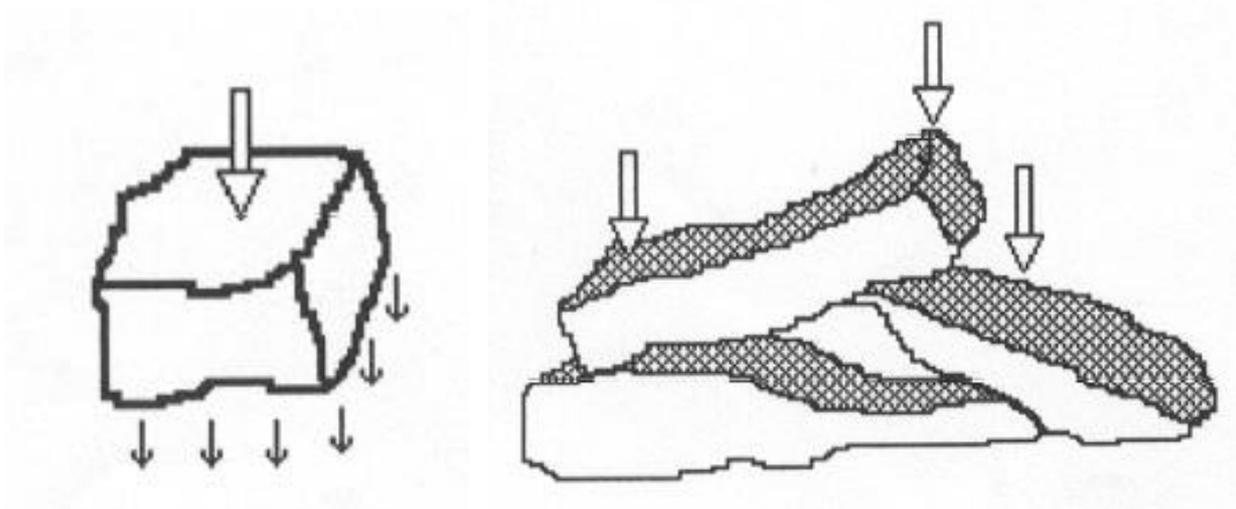
## CLASSIFICAÇÃO DA FORMA DOS AGREGADOS

- Consideração das três dimensões (eixos) do agregado: *Comprimento (A)*, *Largura (B)* e *Espessura (C)*;



## IMPORTÂNCIA DA FORMA AGREGADOS

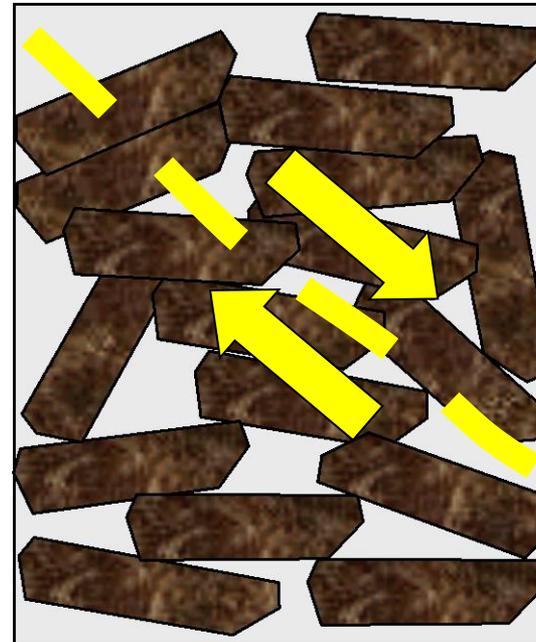
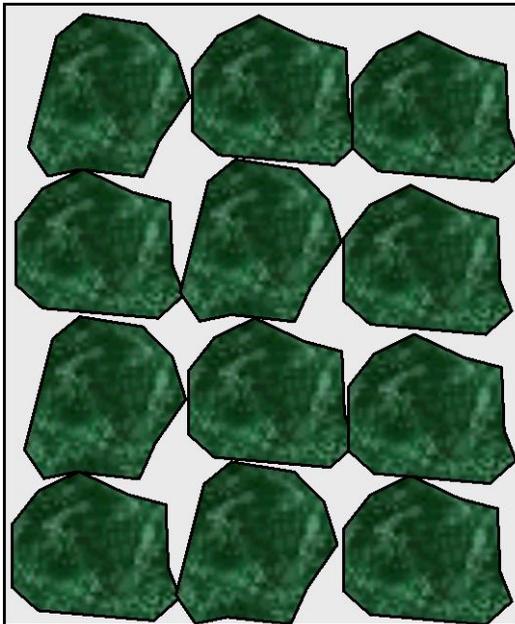
- **Distribuição de esforços e resistência (lastro, concreto);**





## IMPORTÂNCIA DA FORMA AGREGADOS

- **Índice de vazios (economia de ligante);**
- **Trabalhabilidade e acabamento;**
- **Formação de planos preferenciais de fraqueza.**





## FORMA CÚBICA EM AGREGADOS

- **Melhor distribuição de esforços (*maior resistência à compressão*);**
- **Menor índice de vazios (*economia no ligante, maior compactação em lastros*);**
- **Melhor trabalhabilidade (*concreto “rola” melhor*);**
- **Melhor acabamento dos blocos de concreto aparente;**
- **Evita a ocorrência de planos de fraqueza (*alinhamento dos agregados*).**

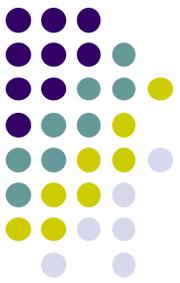


## FORMAS ALONGADA E LAMELAR EM AGREGADOS

- **Pior distribuição de esforços (*menor resistência à compressão*);**
- **Maior índice de vazios (*maior consumo de ligantes – concreto e asfalto*);**
- **Difícil a trabalhabilidade do concreto e a penetração do betume;**
- **Favorece a ocorrência de planos de fraqueza (*alinhamento dos agregados*).**



## DETERMINAÇÃO DA FORMA DOS AGREGADOS



- **Análise das relações:**  
*largura/comprimento ( $b/a$ ) e espessura/largura ( $c/b$ ).*
- **Agrupamento em quatro tipos básicos (Métodos IPT e CESP).**

# DETERMINAÇÃO DA FORMA DOS AGREGADOS

Quadro 5 - Classificação das formas de agregados com base nas dimensões A, B e C

Relação entre as dimensões		Classificação da forma
$B/A$	$C/B$	-
$>0,5$	$>0,5$	Cúbica
$<0,5$	$>0,5$	Alongada
$>0,5$	$<0,5$	Lamelar
$<0,5$	$<0,5$	Alongada-lamelar

Fonte: ABNT (1989).

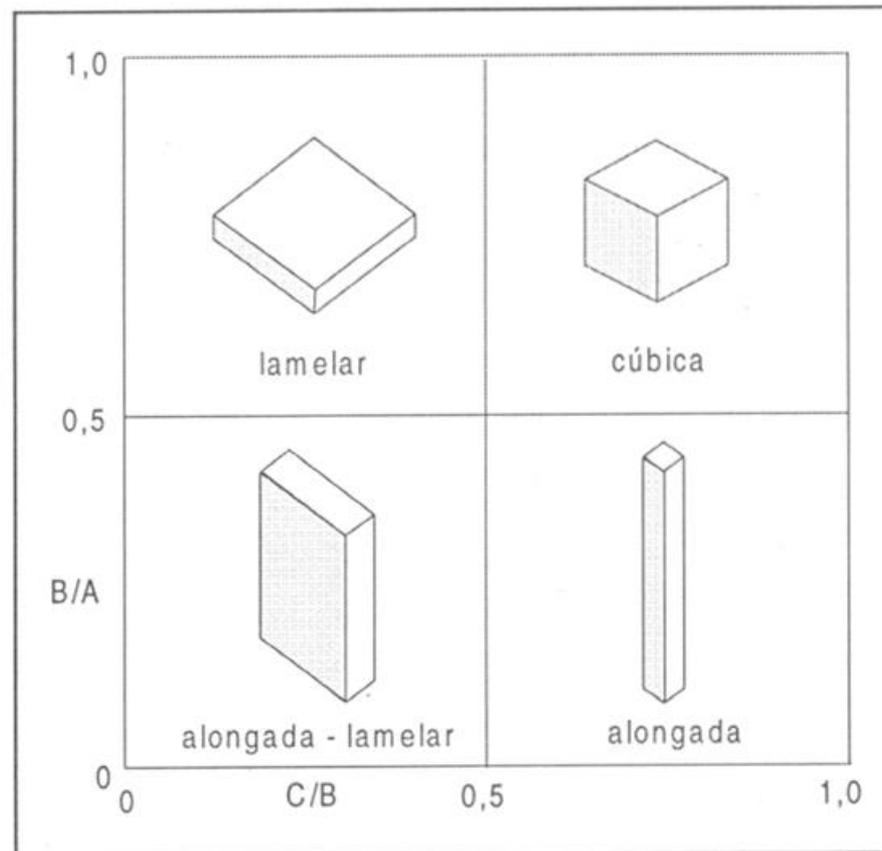
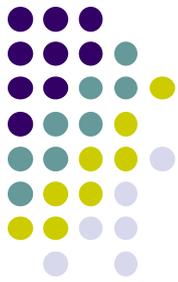
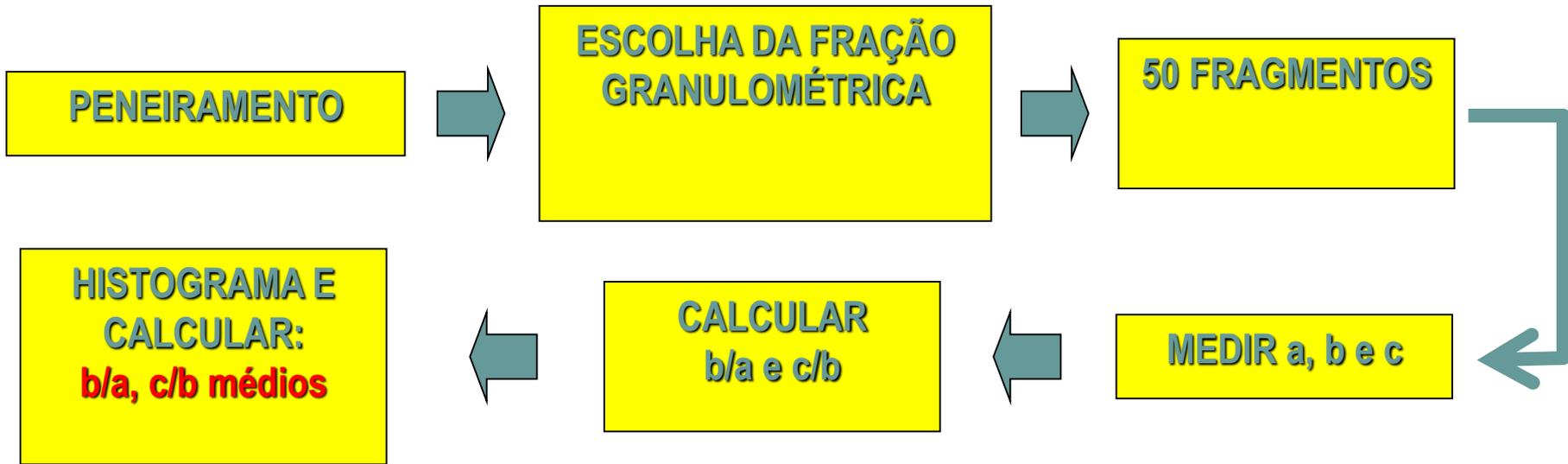


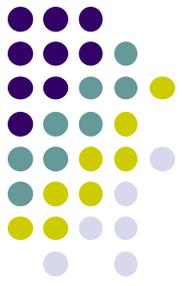
Figura 10 - Ilustração dos tipos de forma de agregados

# PROCEDIMENTOS DO ENSAIO



## ● MÉTODO IPT-M49:



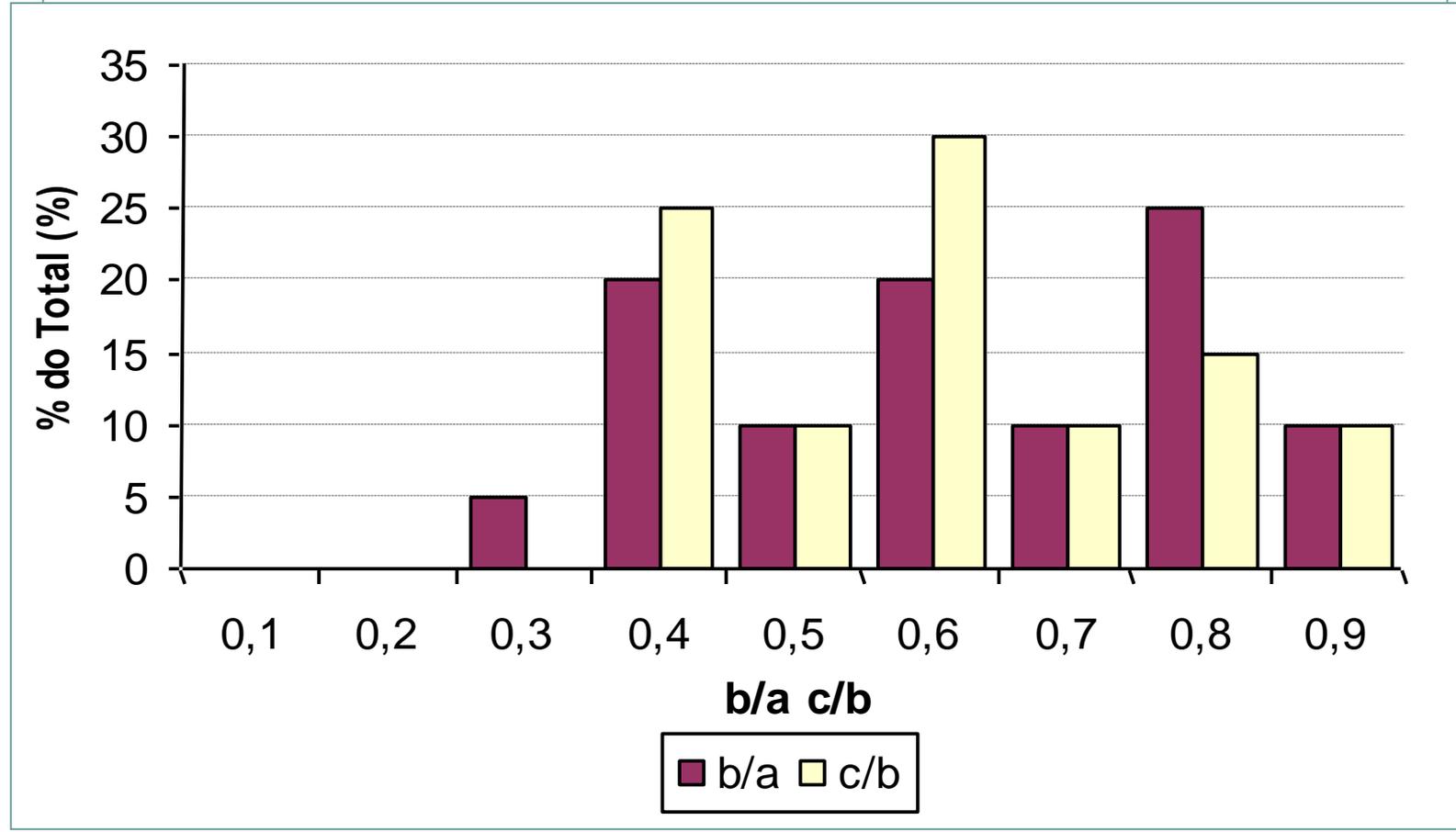




# PROCEDIMENTOS DO ENSAIO

PLANILHA DE LABORATÓRIO

HISTOGRAMA DE DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA



Procedência da Amostra: \_\_\_\_\_

Classificação Petrográfica: \_\_\_\_\_

Classificação da Forma: \_\_\_\_\_

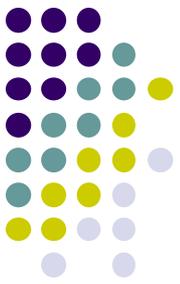
# 7

# ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL “RCU”



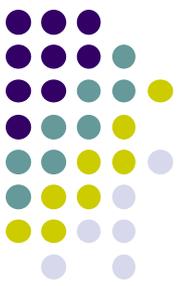
## OBJETIVO

- Determinar:
  - a Resistência à Compressão Uniaxial da rocha ( $\sigma_c$  ou  $q_u$ )
  - o Módulo de Elasticidade (ou módulo de Young) ( $E$ )
  - o Coeficiente de Poisson ( $\nu$ )



## IMPORTÂNCIA DO ENSAIO

- Determinação da resistência das rochas aos esforços de compressão uniaxial (  $\sigma_c$  ou  $q_u$  ) e dos parâmetros elásticos da rocha intacta ( $E$  e  $\nu$ )



## **PROCEDIMENTOS BÁSICOS**

- **PREPARAÇÃO DO CORPO DE PROVA**
- **MEDIDAS GEOMÉTRICAS DO C.P.**
- **INSTRUMENTAÇÃO DO CORPO DE PROVA**
- **POSICIONAMENTO NO SISTEMA DE ENSAIO**
- **APLICAÇÃO DA CARGA COM VELOCIDADE DE CARREGAMENTO CONSTANTE**
- **MEDIDAS DA CARGA, DESLOCAMENTO AXIAL E DESLOCAMENTO RADIAL**



## PLANILHA DE LABORATÓRIO

	ENSAIO	DE	COMPRESSAO	UNIAXIAL	
			TURMA		
PROJETO LOCAL	Geologia	p/	Engenharia DATA	ENSAIO 17/08/04	1254/03 OPERADOR
ROCHA/COR FORMAÇÃO	DADOS granito cinza GEOLOGICA	DA	AMOSTRA		
	DADOS	DO	CORPO	DE	PROVA
MASSA	708.8 g	g			
DIAMETRO	5,18	cm			
ALTURA	12,86	cm			
CONTROLE VELOCIDADE	DADOS força 50	DO	ENSAIO		
		kN/min			

tempo (s)	deslocamento axial (mm)	força axial ( kN)	deslocamento radial (mm)
0,05	-0,0056458	0,8514404	-0,000206
1,1	-0,0033569	0,9429932	-0,0000572
2,14	-0,0018311	1,0101318	0,0000801
3,18	0	1,0894775	0,0000343
4,23	0,0018311	1,171875	-0,0000687
5,27	0,0038147	1,2451172	0,000206
6,31	0,0059509	1,3183594	0,0001373
7,36	0,007782	1,3916016	0,0002518
8,4	0,0102234	1,4434814	0,0001831
9,45	0,0108337	1,4709473	0,0002518
10,49	0,0114441	1,4923096	0,0004463
11,81	0,0125122	1,5350342	0,0004005
12,63	0,0138855	1,5625	0,0004349
13,45	0,0138855	1,574707	0,0005722
14,61	0,0146484	1,6052246	0,0005379
15,54	0,0149536	1,6296387	0,0005836
16,42	0,0158691	1,6479492	0,0006409
17,46	0,0166321	1,663208	0,0005493
18,51	0,0164795	1,6906738	0,0007439
19,33	0,0175476	1,7059326	0,0007095

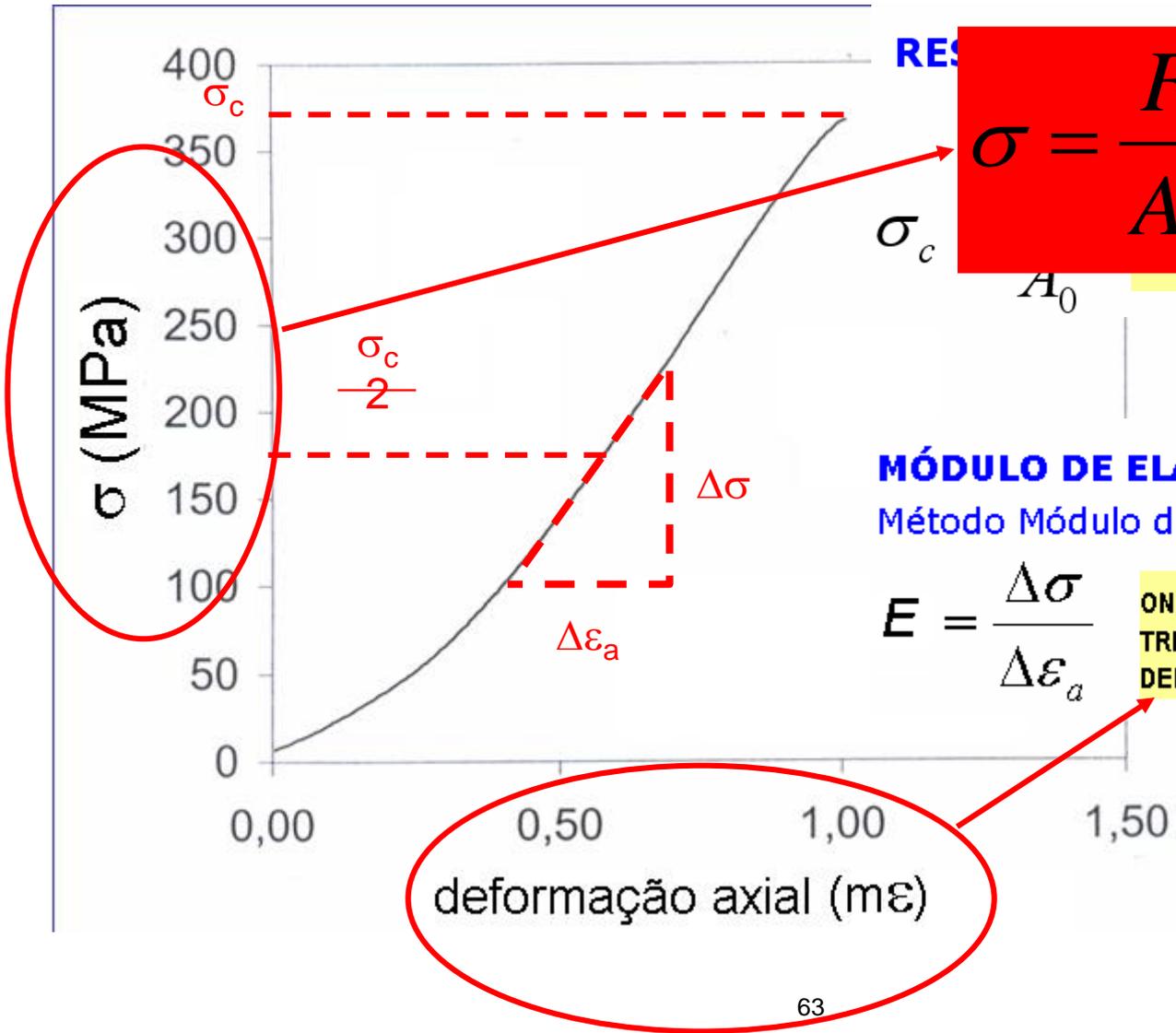


# CÁLCULOS

## RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

$F_{max}$  = CARGA DE RUPTURA  
 $A_0$  = ÁREA DO CP



## MÓDULO DE ELASTICIDADE (E) Método Módulo de Elasticidade Tangente

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon_a}$$

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

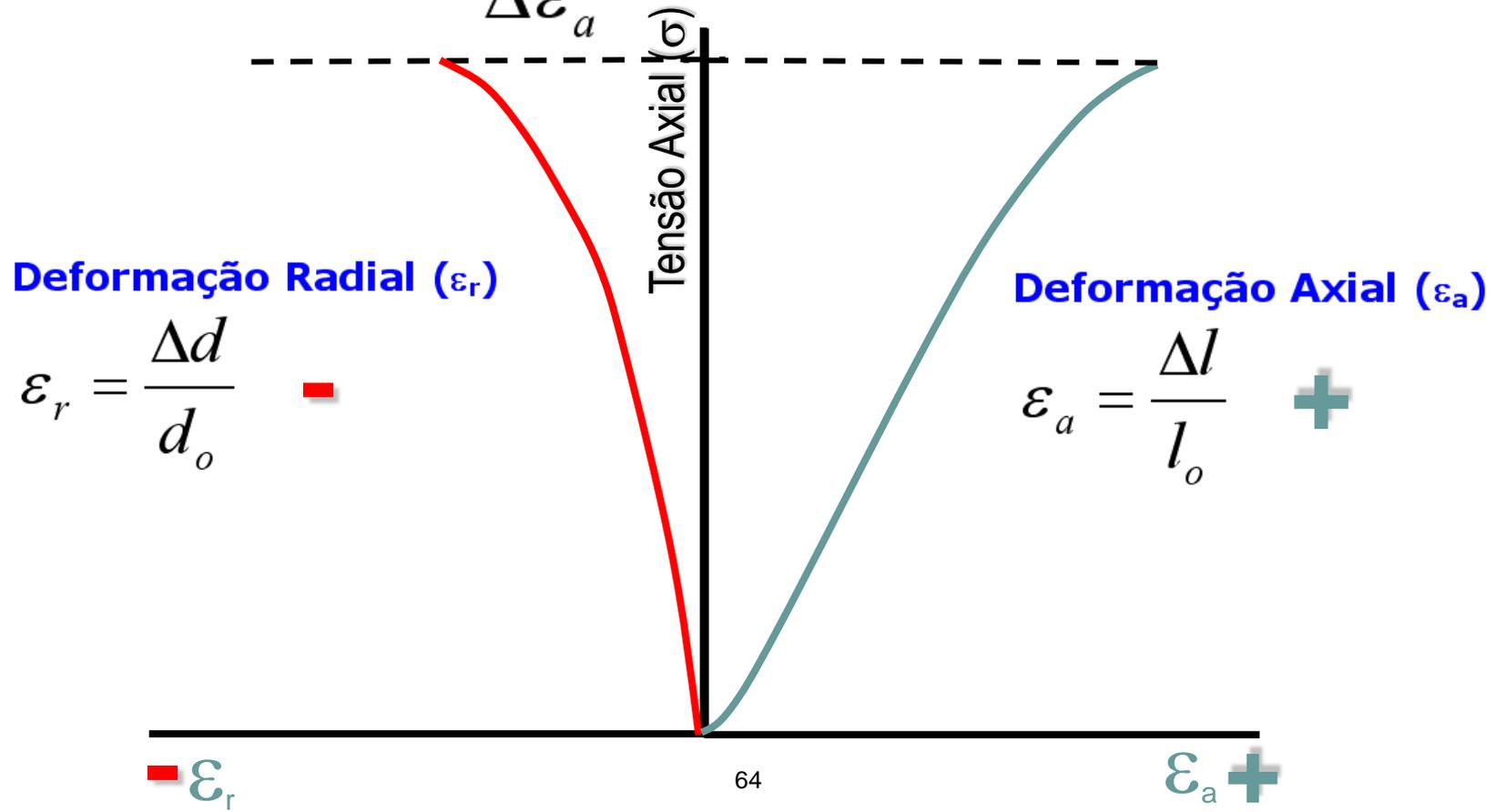
ONDE  $\Delta l$  = VARIACÃO DE COMPRIMENTO  
TRECHO DE REFERÊNCIA  
DEFINIDO NA CURVA TENSÃO-DEFORMAÇÃO

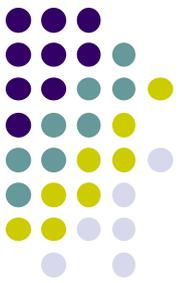


# CÁLCULOS

## COEFICIENTE DE POISSON (ν)

$$\nu = - \frac{\Delta \epsilon_r}{\Delta \epsilon_a}$$



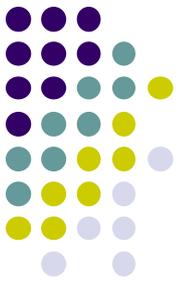
**RESULTADOS****FATORES GEOLÓGICOS QUE INFLUEM**

- GRAU DE ALTERAÇÃO DA ROCHA;
- GRAU DE SATURAÇÃO DA ROCHA;
- PRESENÇA E TIPO DE CIMENTAÇÃO NA ROCHA;
- PRESENÇA DE VAZIOS OU MICROFRATURAS
- ORIENTAÇÃO DO CP EM RELAÇÃO ÀS ESTRUTURAS (ESTRATIFICAÇÃO, XISTOSIDADE, FRATURAS, ETC).

**ARENITOS – FORMAÇÃO MARÍLIA**

# 8

## ENSAIO DE ABRASÃO LOS ANGELES “ALA”

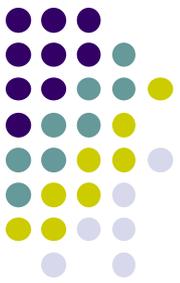


### OBJETIVO

- Estabelecimento de procedimentos simples para a determinação da resistência ao desgaste e abrasão de fragmentos rochosos (**Dureza**);
- O ensaio solicita o agregado por atrito e impacto (com a parede de um tambor rotatório e com as bolas de aço dentro deste tambor);
- NBR NM 51:2000.

## IMPORTÂNCIA DA DUREZA

- **Os agregados são submetidos a elevadas solicitações por abrasão durante a construção e operação de obras civis (concreto, lastro de ferrovias e pavimentos betuminosos).**



- **Ensaio LA em fragmentos de rocha:**
  - Secagem da amostra e pesagem => **m**;
  - Introdução no tambor + bolas de aço. Número de bolas de aço e rotações definidas em função da fração ensaiada;
  - Após as rotações adequadas, a amostra é retirada do tambor, peneirada (# 1,7 mm) e o material retido é novamente pesado => **m'**.



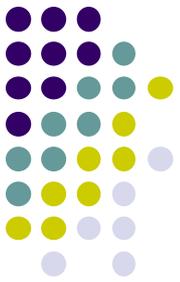
## ● Ensaio LA em fragmentos de rocha:

Tabela 01 – Graduações para o ensaio.

Peneira ( $\phi$ ) mm		Massa da Amostra g						
Passa	Retida	Grad. A	Grad. B	Grad. C	Grad. D	Grad. E	Grad. F	Grad. G
76,2	63,5	–	–	–	–	2500 ± 50	–	–
63,5	50,8	–	–	–	–	2500 ± 50	–	–
50,8	38,1	–	–	–	–	5000 ± 100	5000 ± 100	–
38,1	25,4	1250 ± 25	–	–	–	–	5000 ± 100	5000 ± 100
25,4	19,1	1250 ± 25	–	–	–	–	–	5000 ± 100
19,1	12,7	1250 ± 25	2500 ± 50	–	–	–	–	–
12,7	9,52	1250 ± 25	2500 ± 50	–	–	–	–	–
9,52	6,35	–	–	2500 ± 50	–	–	–	–
6,35	4,76	–	–	2500 ± 50	–	–	–	–
4,76	2,38	–	–	–	5000 ± 100	–	–	–
<b>Massa Total</b>		<b>5000 ± 100</b>	<b>5000 ± 100</b>	<b>5000 ± 100</b>	<b>5000 ± 100</b>	<b>10000 ± 200</b>	<b>10000 ± 200</b>	<b>10000 ± 200</b>

Tabela 02 – Número de esferas e número de rotações.

Graduação	Número de esferas	Massa total das esferas (g)	Número de Rotações
Grad. A	12	5000+25	500
Grad. B	11	4584+25	500
Grad. C	8	3330+25	500
Grad. D	6	2500+25	500
Grad. E	12	5000+25	1000
Grad. F	12	5000+25	1000
Grad. G	12	5000+25	1000



## ● Ensaio LA em fragmentos de rocha:

### EXECUÇÃO DO ENSAIO

Graduação A	Massa da amostra seca, colocada na máquina	$m_A =$
	Massa da amostra após o ensaio (peneiramento, lavagem e secagem)	$m'_A =$
	<b>Abrasão Los Angeles na graduação A</b>	<b><math>A_A =</math></b>
Graduação B	Massa da amostra seca, colocada na máquina	$M_B =$
	Massa da amostra após o ensaio (peneiramento, lavagem e secagem)	$m'_B =$
	<b>Abrasão Los Angeles na graduação B</b>	<b><math>A_B =</math></b>
Graduação C	Massa da amostra seca, colocada na máquina	$m_C =$
	Massa da amostra após o ensaio (peneiramento, lavagem e secagem)	$m'_C =$
	<b>Abrasão Los Angeles na graduação C</b>	<b><math>A_C =</math></b>
Graduação D	Massa da amostra seca, colocada na máquina	$m_D =$
	Massa da amostra após o ensaio (peneiramento, lavagem e secagem)	$m'_D =$
	<b>Abrasão Los Angeles na graduação D</b>	<b><math>A_D =</math></b>
Graduação E	Massa da amostra seca, colocada na máquina	$m_E =$
	Massa da amostra após o ensaio (peneiramento, lavagem e secagem)	$m'_E =$
	<b>Abrasão Los Angeles na graduação E</b>	<b><math>A_E =</math></b>
Graduação F	Massa da amostra seca, colocada na máquina	$m_F =$
	Massa da amostra após o ensaio (peneiramento, lavagem e secagem)	$m'_F =$
	<b>Abrasão Los Angeles na graduação F</b>	<b><math>A_F =</math></b>
Graduação G	Massa da amostra seca, colocada na máquina	$m_G =$
	Massa da amostra após o ensaio (peneiramento, lavagem e secagem)	$m'_G =$
	<b>Abrasão Los Angeles na graduação G</b>	<b><math>A_G =</math></b>

$$A = \frac{m - m'}{m} \times 100 (\%)$$

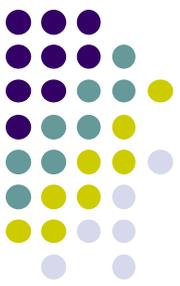
# 9



## **MASSA ESPECÍFICA SECA** **MASSA ESPECÍFICA SATURADA** **ABSORÇÃO DE ÁGUA** **POROSIDADE**

### **OBJETIVOS**

- Determinação de índices físicos indicativos da quantidade de vazios (microdescontinuidades) presentes nas rochas utilizadas como agregados;
- Utilização de procedimentos laboratoriais simples: secagem, saturação e pesagem de precisão.



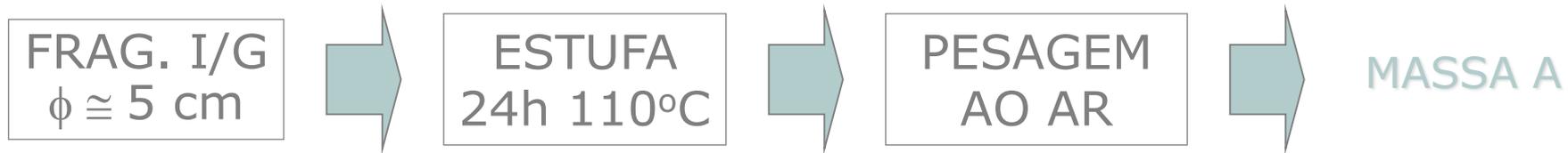
## EFEITOS DOS VAZIOS EM AGREGADOS

- Maior absorção da água da massa piorando a sua trabalhabilidade (viscosidade);
- Maior consumo de cimento;
- Redução da resistência mecânica do agregado;
- Maior suscetibilidade ao ataque químico (maior superfície de contato).



## PROCEDIMENTOS BÁSICOS

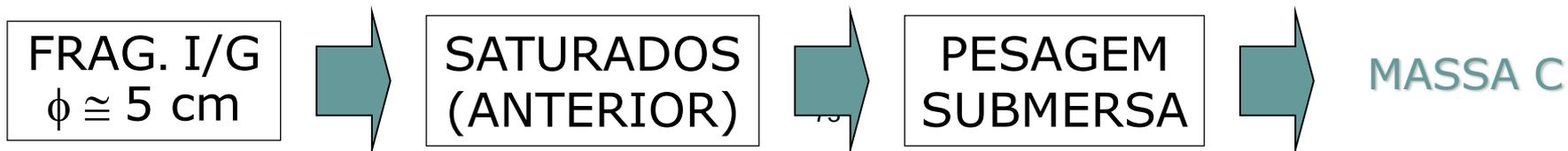
- **OBTENÇÃO DA MASSA SECA DA ROCHA – MASSA A**



- **OBTENÇÃO DA MASSA SATURADA (VAZIOS 100% C/ ÁGUA) – MASSA B**



- **OBTENÇÃO DA MASSA SATURADA SUBMERSA (-EMPUXO) – MASSA C**





## CÁLCULO DOS ÍNDICES



### ● Massa específica seca - $\rho_d$ (g/cm<sup>3</sup>)

$$\rho_d = \frac{m_s}{V_t}$$

$m_s$  = massa dos sólidos (A)

$V_t$  = volume total

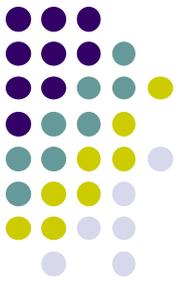
$$\rho_d = \frac{A}{B - C} = \frac{m_s}{m_s + m_a - [(m_s + m_a) - (V_t * \rho_a)]} = \frac{m_s}{V_t}$$

### FRAGMENTOS REGULARES (CORPO DE PROVA CILÍNDRICO):

$$\rho_d = \frac{m_s}{V_t}$$

$$V_t = \frac{\pi d^2}{4} h$$

d=diâmetro, h=altura

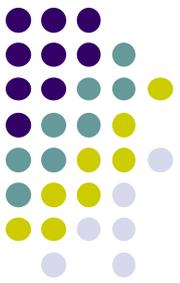


## CÁLCULO DOS ÍNDICES

### ● Massa específica saturada - $\rho_{sat}$ (g/cm<sup>3</sup>)

$$\rho_{sat} = \frac{m_{sat}}{V_t}$$

$m_{sat}$  = massa saturada (B)  
 $V_t$  = volume total

**CÁLCULO DOS ÍNDICES****● Absorção d'água - S (%)**

$$S = \frac{m_a}{m_s} * 100 \quad \text{onde,} \quad \left\{ \begin{array}{l} m_a = \text{Massa d'água (vazios)} \\ m_s = \text{Massa dos sólidos} \end{array} \right.$$

**FRAGMENTOS IRREGULARES E REGULARES:**

$$S = \frac{B - A}{A} * 100$$

## CÁLCULO DOS ÍNDICES



### ● Porosidade - p (%)

$$P = \frac{v_v}{v} * 100 \quad \text{onde,} \quad \begin{cases} v_v = \text{Volume de vazios (saturado} \Rightarrow m_a * \gamma_a) \\ v = \text{Volume total} \end{cases}$$

### FRAGMENTOS IRREGULARES:

$$P = \frac{B - A}{B - C} \times 100 = \frac{m_a}{\cancel{m_s} + \cancel{m_a} - [(\cancel{m_s} + \cancel{m_a}) - v \times \gamma_a]} \overset{1 \text{ g/cm}^3}{=} \frac{v_v}{v} \times 100$$



# PLANILHA DE LABORATÓRIO

Nome: \_\_\_\_\_ Nº: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_ Operador: \_\_\_\_\_

Amostra	CP nº	A (g)	B (g)	C (g)	$\rho_{23}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{SAT}$ (g/cm <sup>3</sup> )	S (%)	$\eta_a$ (%)
<b>Arenito</b>	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
	Média							
<b>Basalto</b>	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
	Média							
<b>Granito</b>	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
	Média							