

Análise Granulométrica

16/3/2020

-9,5 +4,8 mm



brita 0



seixo rolado



Análise Granulométrica

Análise Granulométrica – o que é?

Compreende o estudo dos métodos que estabelecem a distribuição de tamanhos das partículas em um material granulado ou produto fragmentado em função das respectivas massas

Objetivo

- Determinar o tamanho em que se encontra um determinado material (minério bruto, concentrado, etc)
- Determinar a distribuição de tamanho em que se encontra um determinado material (minério bruto, concentrado, etc)

Técnicas usuais para realização da Análise Granulométrica

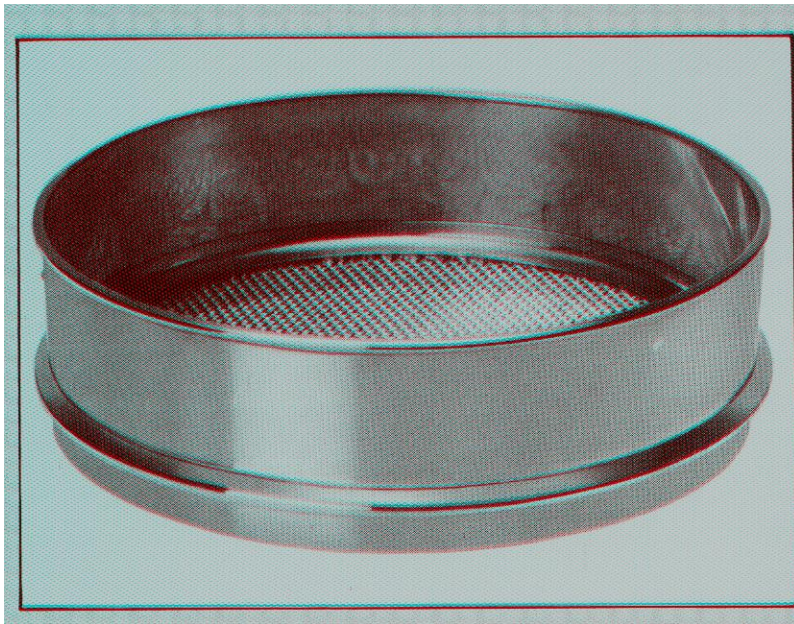
- Peneiramento – a seco ou a úmido
- Sedimentação – lei de Stokes

Peneiramento ou peneiração - peneiras

“O peneiramento é um dos métodos mais antigos na área de processamento mineral e, até hoje, é usado com aplicação comprovada em uma variedade de indústrias e nas mais diferentes áreas” João Alves Sampaio e outros - CETEM

- 150 a.C – gregos e romanos – prancha ou pele perfurada – tecidos de cabelo humanos e cavalos
- Século XV– alemães – primeiras telas de arame – indústria estabeleceu especificações de tamanhos com base em ensaios de peneiramento
- Necessidade de um padrão de referência para o peneiramento de minérios – padrões de comparação – séries de peneiras - Tyler

Peneiras utilizadas para análises granulométricas

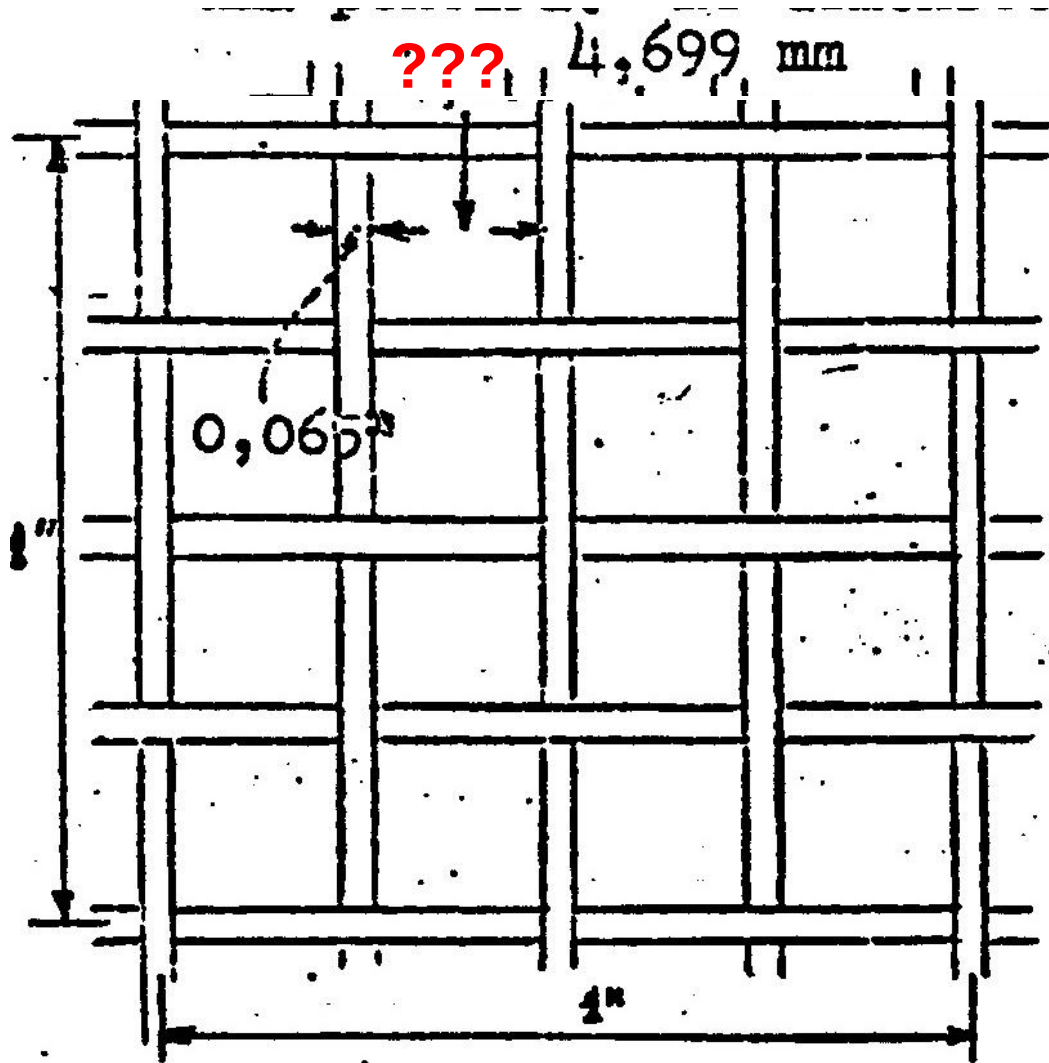


PENEIRA REDONDA

- Caixilho em aço inox ou latão com etiqueta de identificação
- Telas de aço inox
- Dimensões usuais: ϕ 203 mm (8"), altura 50 mm (2")



Conjunto de peneiras



mesh = malha

#

Fig. 2.3 - Tela da peneira de
4 malhas

Análise Granulométrica

Técnica de análise granulométrica

NORMA
BRASILEIRA

ABNT NBR
ISO
4701

Terceira edição
22.01.2020

Minérios de ferro e pré-reduzidos — Determinação
da distribuição granulométrica por peneiramento

*Iron ores and direct reduced iron — Determination of size distribution
by sieving*



MT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM
DIRETORIA DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO - IPR
DIVISÃO DE CAPACITAÇÃO TECNOLÓGICA
Rodovia Presidente Dutra km 163 - Centro Rodoviário, Parada de Lucas
Rio de Janeiro, RJ - CEP 21240-330
Norma rodoviária
Método de Ensaio
DNER-ME 083/98
p. 01/05

Agregados - análise granulométrica

RESUMO

Este documento prescreve o procedimento para determinação da composição granulométrica de agregados graúdos e miúdos para concreto, por peneiramento. Prescreve a aparelhagem, amostragem e ensaios, definições e as condições para obtenção dos resultados.

ABSTRACT

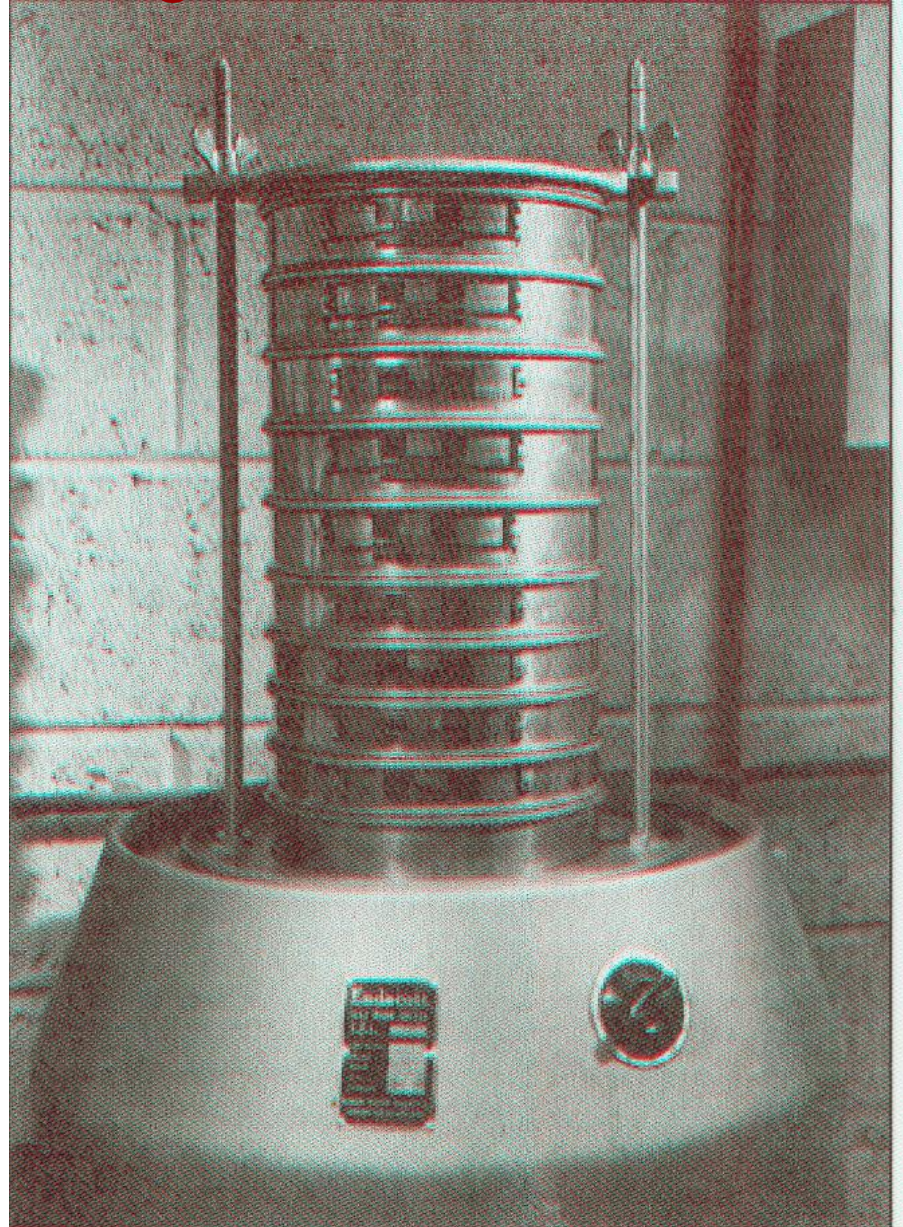
- 5 Amostragem
- 6 Ensaio
- 7 Cálculos e resultados

0 PREFÁCIO

Esta Norma apresenta aperfeiçoamento técnico ao texto da DNER-ME 083/94 e adaptação à DNER-PRO 101/97

Análise Granulométrica

Técnica de análise granulométrica



Parâmetros importantes

- N° de peneiras
- Massa
- Tempo
- Vibração
- Umidade

As peneiras são colocadas aleatoriamente ou seguem escalas padronizadas?

Fração: é uma faixa granulométrica ou conjunto de faixas desde que não inclua todas as faixas

Produto?

A análise granulométrica é feita a partir de ESCALAS PADRONIZADAS

1 – Escala de RITTINGER

a_n = abertura de ordem n

a_0 = abertura de referência = 1 mm

$$a_n = a_0 r^n$$

r = razão da escala = $\sqrt{2}$

Exemplo

$$a_0 = 1 \text{ mm}$$

$$a_1 = 1,414 \text{ mm}$$

$$a_2 = 2,00 \text{ mm}$$

$$a_3 = 2,83 \text{ mm}$$

$$a_4 = 4,00 \text{ mm}$$

$$a_0 = 1 \text{ mm}$$

$$A_{-1} = 0,707 \text{ mm}$$

$$A_{-2} = 0,500 \text{ mm}$$

$$A_{-3} = 0,3545 \text{ mm}$$

$$A_{-4} = 0,250 \text{ mm}$$

Exercício: montar esse jogo de peneiras

ESCALAS PADRONIZADAS

2 – Escala de RICHARDS

$$a_n = a_0 r^n$$

$$r = \text{razão da escala} = \sqrt[4]{2}$$

Significado físico: Introdução de uma peneira intermediária entre 2 consecutivas da escala de RITTINGER

ESCALAS PADRONIZADAS

3 – Escala de TYLER

$$a_n = a_0 r^n$$

a_n = abertura de ordem n

a_0 = abertura de referência = 74 μm = 0,074 mm

r = razão da escala = $\sqrt{2}$

QUADRO 2.1 - Escala Tyler de aberturas padronizadas

Tratamento de Minérios

Aberturas (série $\sqrt{2}$) (Tyler)			Diâmetro do fio das telas das peneiras (polegadas)	Métodos de análise granulométrica	Exemplos
mm	μ	malha			
26,67			0,118	penetração	Pedregulho
18,85			0,135		
13,33			0,105		
9,423			0,092		
6,680		3	0,070		
4,699		4	0,065		
3,327		6	0,036		
2,362		8	0,032		
1,651		10	0,035		
1,168		14	0,025		
0,833		20	0,0172	Elutriação ou sedimentação	Areia
0,589		28	0,0125		
0,417		35	0,0122		
0,295		48	0,0092		
0,208		65	0,0072		
0,147		100	0,0042		
0,104		150	0,0026		
0,074		200	0,0021		
0,053		270	0,0016		
0,044		325 (*)	0,0014	microscópica centrifugação	Glóbulos de sangue microbrios (comprimento de onda de luz visível)
0,037	37	400 (**)	0,0010		
	⋮	⋮			
	4,62	3200			
	0,14				
	0,017				
	0,004				
	0,0005				

Análise

Granulométrica

Essas aberturas estão de acordo com a escala de Tyler?

(*) (**) - ver pag. seguinte.

Tyler ($\sqrt{2}$)		A.S.T.M	
Abertura (mm)	Malhas	Abertura (mm)	Nº
6,680	3	6,35	3
4,669	4	4,76	4
3,327	6	3,36	6
2,362	8	2,38	8
1,651	10	1,68	12
1,168	14	1,19	16
0,833	20	0,84	20
0,589	28	0,59	30
0,417	35	0,42	40
0,295	48	0,297	50
0,208	65	0,210	70
0,147	100	0,149	100
0,104	150	0,105	140
0,074	200	0,074	200
0,053	270	0,053	270
0,037	400	0,037	400

Comparação entre as Séries de peneiras Tyler e ASTM

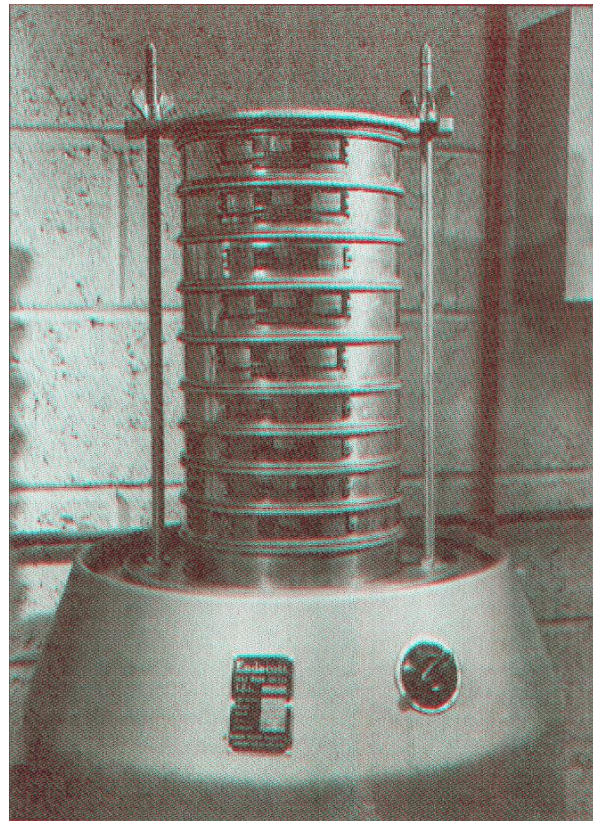
Tabela 1 – Série Tyler de peneiras com aberturas em malhas com valores correspondentes em mm, µm e polegada.

Abertura (Malha)		Aberturas	
Série Tyler	(mm)	µm	Polegada
2 ½	8,000	8000	5/16
3	6,730	6730	0,265
3 ½	5,613	5613	0,221
4	4,800	4800	0,185
5	4,000	4000	0,157
6	3,400	3400	0,131
7	2,840	2840	0,110
8	2,400	2400	0,093
9	2,000	2000	0,079
10	1,700	1700	0,065
12	1,420	1420	0,055
14	1,200	1200	0,046
16	1,000	1000	0,039
20	0,850	850	0,0331
24	0,710	710	0,0278
28	0,600	600	0,0234
32	0,500	500	0,0197
35	0,425	425	0,0165
42	0,355	355	0,0139
48	0,300	300	0,0117
60	0,250	250	0,0098
65	0,212	212	0,0083
80	0,180	180	0,0069
100	0,150	150	0,0058
115	0,125	125	0,0049
150	0,104	104	0,0041
170	0,090	90	0,0035
200	0,074	74	0,0029
250	0,063	63	0,0025
270	0,053	53	0,0021
325	0,045	45	0,0017
400	0,037	37	0,0014
635	0,020	20	0,00079

Fonte: Tabela Krebs Engineers

Como são apresentados os resultados de análises granulométricas?

- Tabelas
- Gráficos



Análise Granulométrica

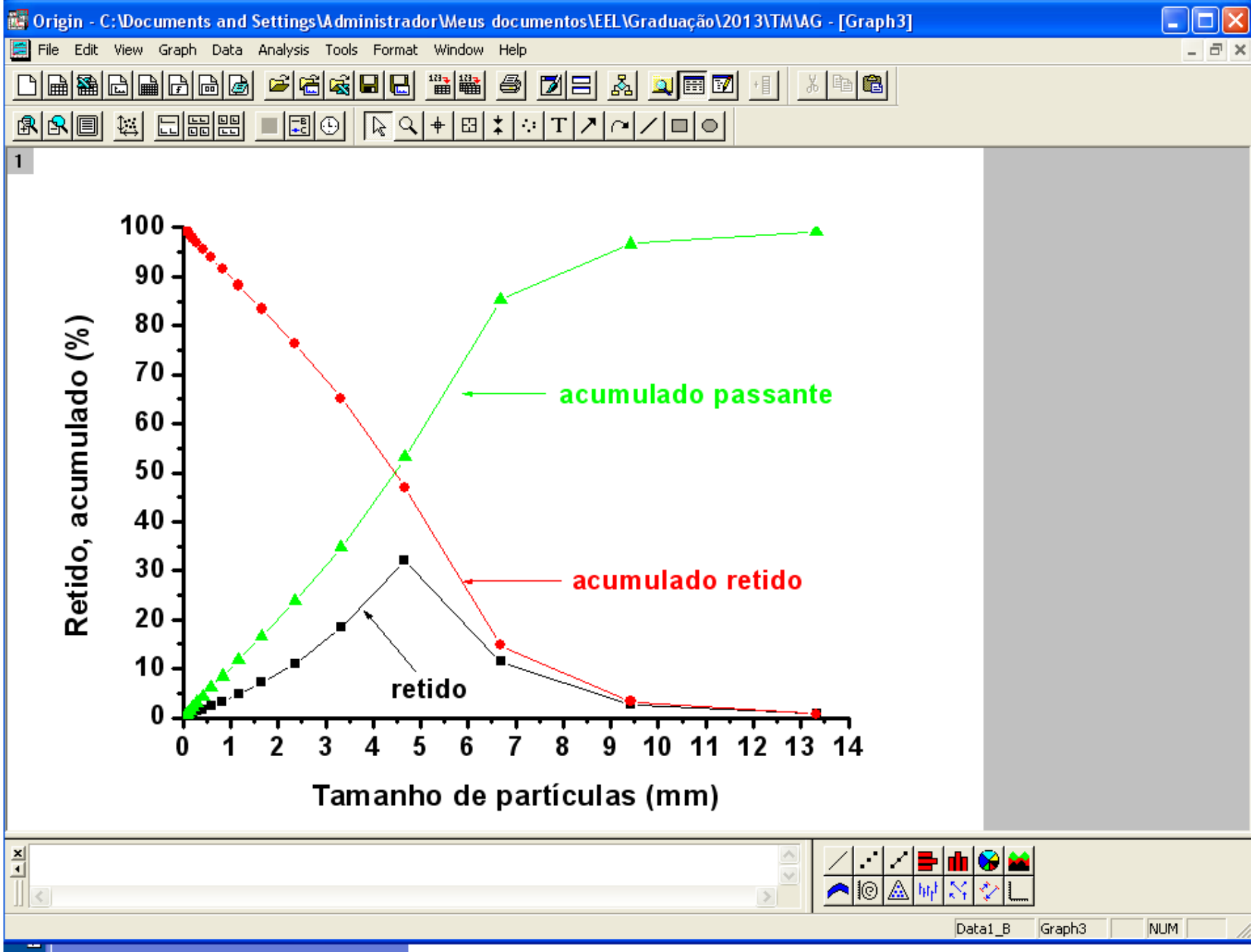
Abertura $\sqrt{2}$		Peso %		Observações
mm.	malha	retido	acumulado	
+13,33	- ---	0,74	0,74	<u>peneiração automática</u> em Ro-Tap
-13,33 + 9,423	---	2,60	3,34	
- 9,423 + 6,680	+ 3	11,41	14,75	
- 6,680 + 4,669	- 3 + 4 ou + 4	32,12	46,87	<u>Peso da amostra</u> = 523,6 g (obtida pela soma dos pesos retidos)
- 4,669 + 3,327	- 4 + 6 ou + 6	18,34	65,21	
- 3,327 + 2,362	- 6 + 8 ou + 8	11,05	76,26	
- 2,362 + 1,651	- 8 + 10 ou + 10	7,13	83,39	
- 1,651 + 1,168	- 10 + 14 ou + 14	4,83	88,22	
- 1,168 + 0,833	- 14 + 20 ou + 20	3,33	91,55	
- 0,833 + 0,589	- 20 + 28 ou + 28	2,30	93,85	
- 0,589 + 0,417	- 28 + 35 ou + 35	1,71	95,56	
- 0,417 + 0,295	- 35 + 48 ou + 48	1,33	96,89	
- 0,295 + 0,208	- 48 + 65 ou + 65	0,94	97,83	
- 0,208 + 0,147	- 65 + 100 ou + 100	0,70	98,53	<u>Tempo de peneiração</u> =20 min. <u>Umidade da amostra</u> 3%
- 0,147 + 0,104	- 100 + 150 ou + 150	0,52	99,05	
- 0,104 + 0,074	- 150 + 200 ou + 200	0,33	99,38	
- 0,074	- 200	0,62	100,00	
TOTAL		100,00		

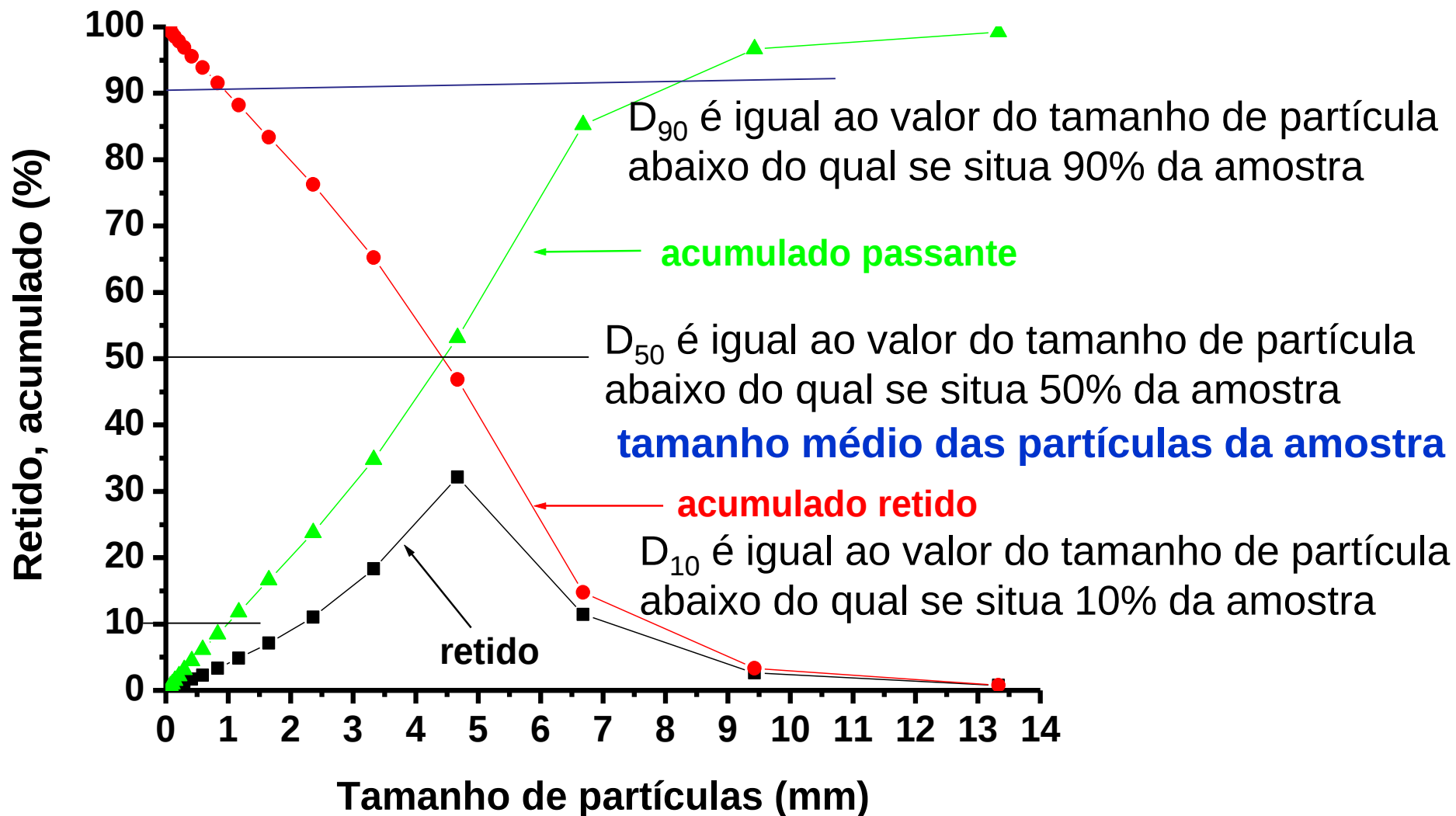


	A[X]	B[Y]	C[Y]	D[Y]
1	13,33	0,74	0,74	99,26
2	9,423	2,6	3,34	96,66
3	6,68	11,41	14,75	85,25
4	4,669	32,12	46,87	53,13
5	3,327	18,34	65,21	34,79
6	2,362	11,05	76,26	23,74
7	1,651	7,13	83,39	16,61
8	1,168	4,83	88,22	11,78
9	0,833	3,33	91,55	8,45
10	0,589	2,3	93,85	6,15
11	0,417	1,71	95,56	4,44
12	0,295	1,33	96,89	3,11
13	0,208	0,94	97,83	2,17
14	0,147	0,7	98,53	1,47
15	0,104	0,52	99,05	0,95
16	0,074	0,33	99,38	0,62
17	0,074	0,62	100	0
18				
19				
20				
21				

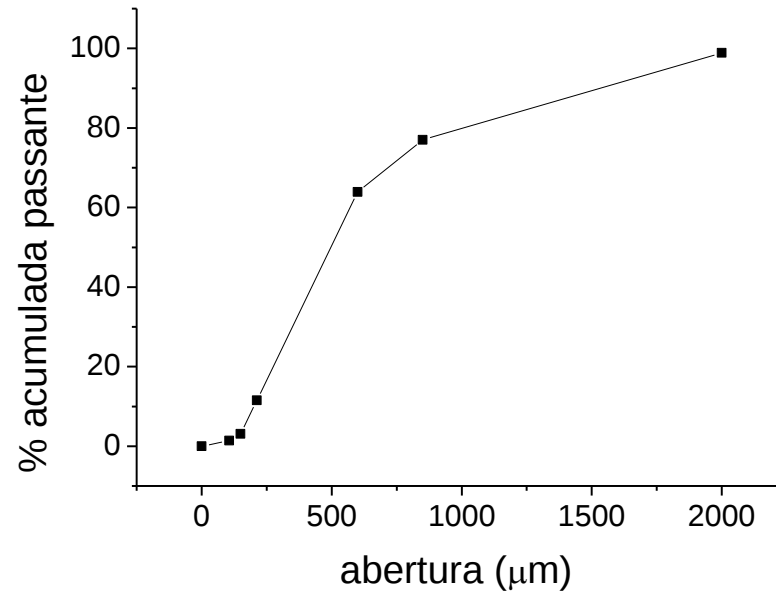
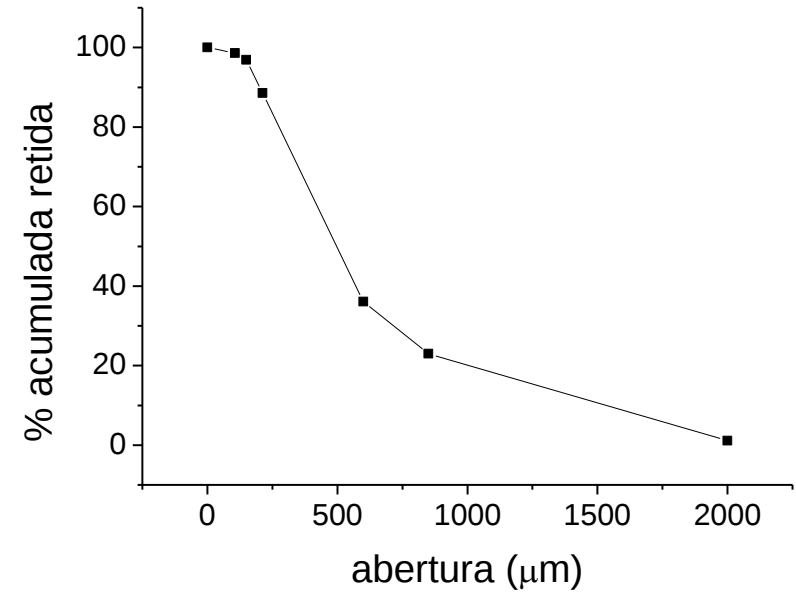
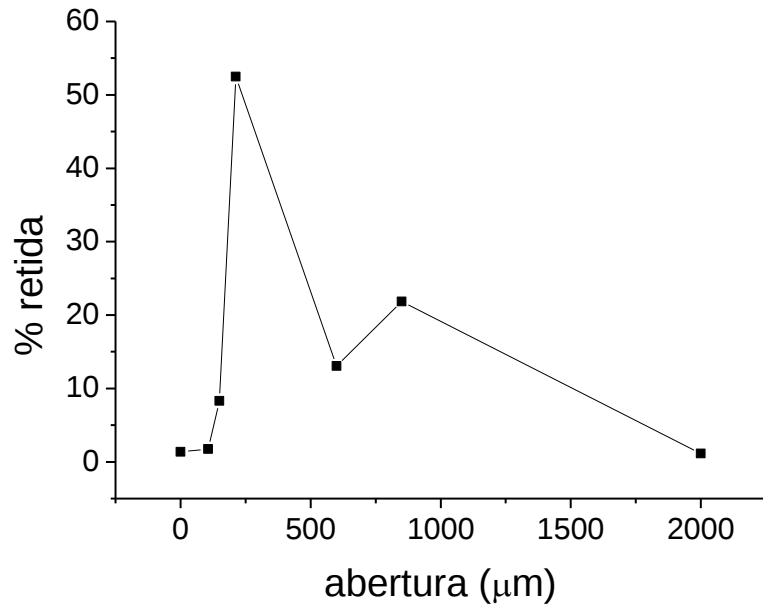
- Coluna (A) – abertura da malha em mm
- Coluna (B) - % retida em cada peneira
- Coluna (C) - **% acumulada retida**
- Coluna (D) - **% acumulada passante**







Análise Granulométrica



Vocês já viram
esses gráficos?

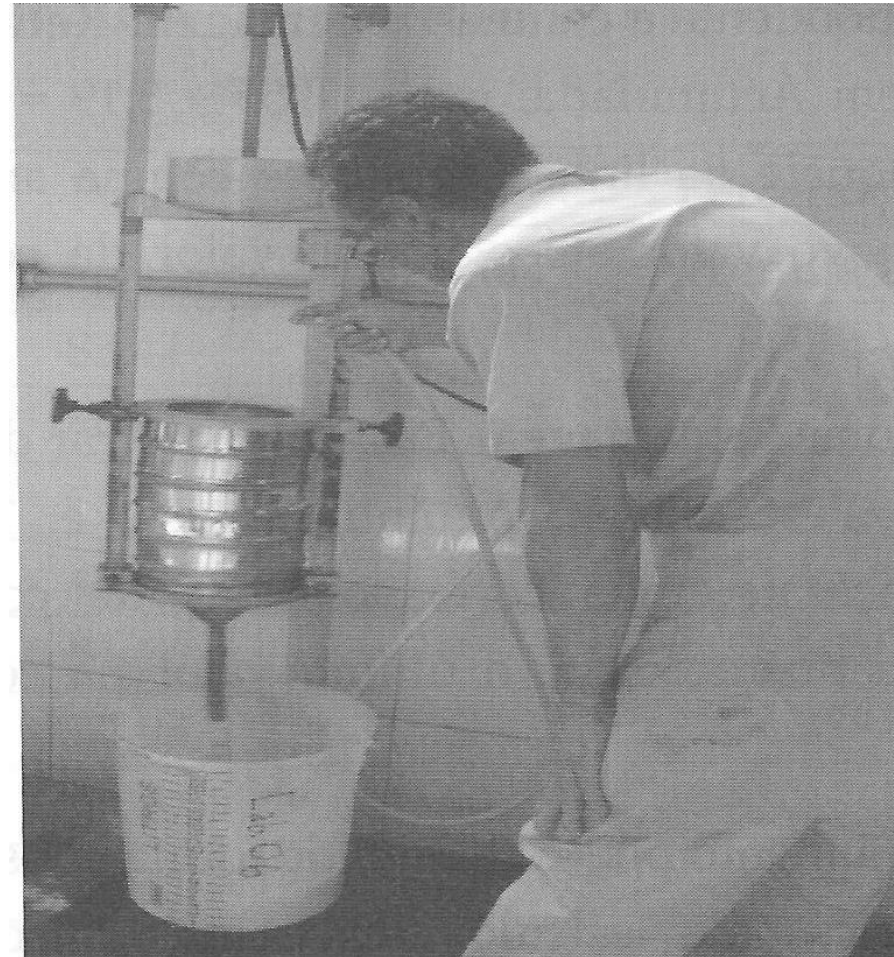
Análise Granulométrica

Análise granulométrica por peneiração a úmido

Por que a úmido?

- Aglomerados de partículas finas
- Partículas finas aderidas às grossas
- suspensão defloculada

Silicato de sódio, hexametassicato de sódio



Análise Granulométrica

Análise granulométrica por peneiração a úmido

Exercício: a partir da análise granulométrica mostrada na tabela abaixo determine:

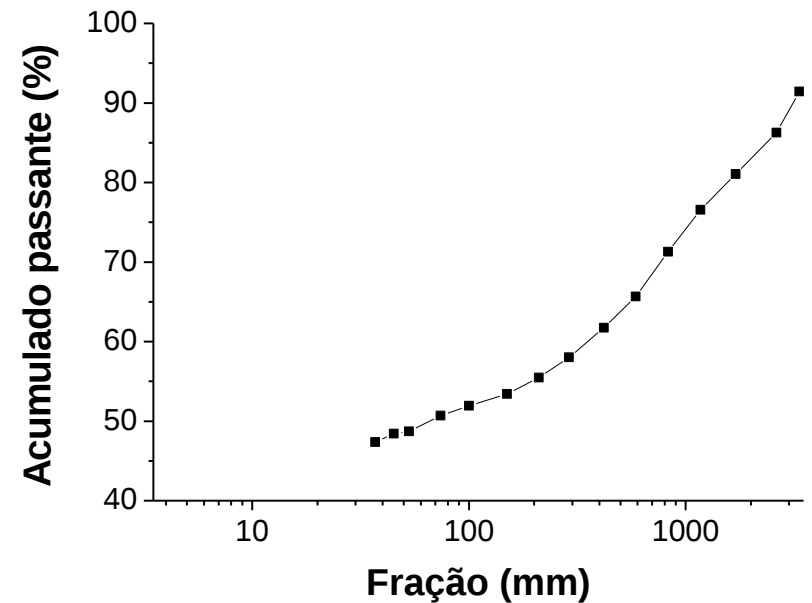
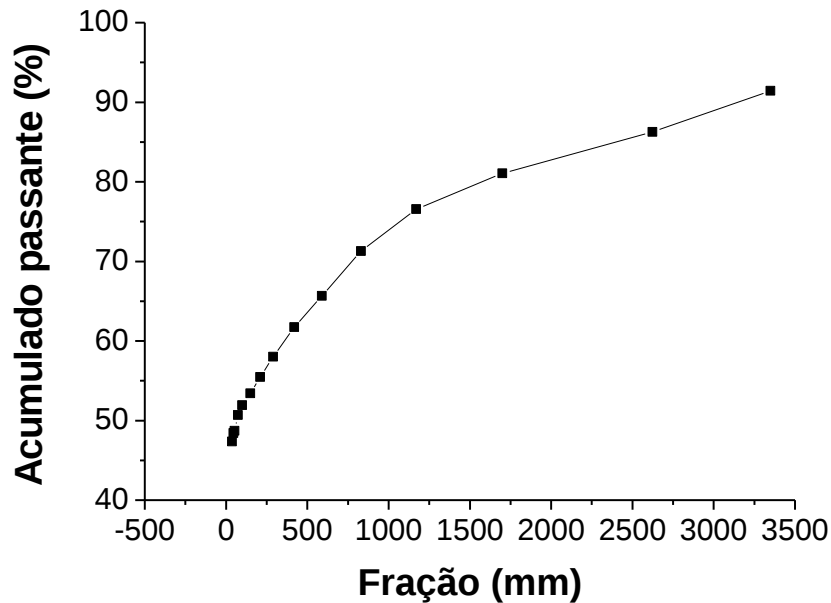
a) D_{10} , D_{80} e D_{90}

b) Tamanho médio

Linha	Abertura (μm)	Peso (g)	Percentagens		
			Retida	Acumulada	Passante
1	3350	83,44	8,55	8,55	91,45
2	2623	50,61	5,19	13,74	86,27
3	1700	50,74	5,20	18,93	81,07
4	1170	44,07	4,52	23,45	76,55
5	830	51,26	5,25	28,70	71,30
6	589	54,95	5,63	34,33	65,67
7	420	38,27	3,92	38,25	61,75
8	290	36,51	3,74	41,99	58,01
9	210	24,78	2,54	44,53	55,47
10	150	20,00	2,05	46,58	53,42
11	100	14,50	1,49	48,07	51,93
12	74	12,16	1,25	49,31	50,69
13	53	19,38	1,99	51,30	48,70
14	45	2,71	0,28	51,58	48,43
15	37	10,54	1,08	52,66	47,35
16	-37	462,1	47,35	100,00	0,00
17	Total	976,02	100,00	-	-

- 37: material passante na peneira de 37 μm .

Análise granulométrica por peneiração a úmido



Análise granulométrica instrumental

Análise granulométrica instrumental

Quando é necessária?

- pós muito finos
- pós com facilidade de aglomeração
- malhas das peneiras muito caras
- mão de obra melhor qualificada
- equipamentos caros

Análise Granulométrica

Análise granulométrica de partículas finas

- Utilização de equipamentos capazes de avaliar o tamanho de partículas por meio de outros princípios físicos como:
 - Lei de Stokes
 - Interferência de um feixe de laser ou raios X

- Sedigrafo

- Malvern

Equipamentos mais comuns:

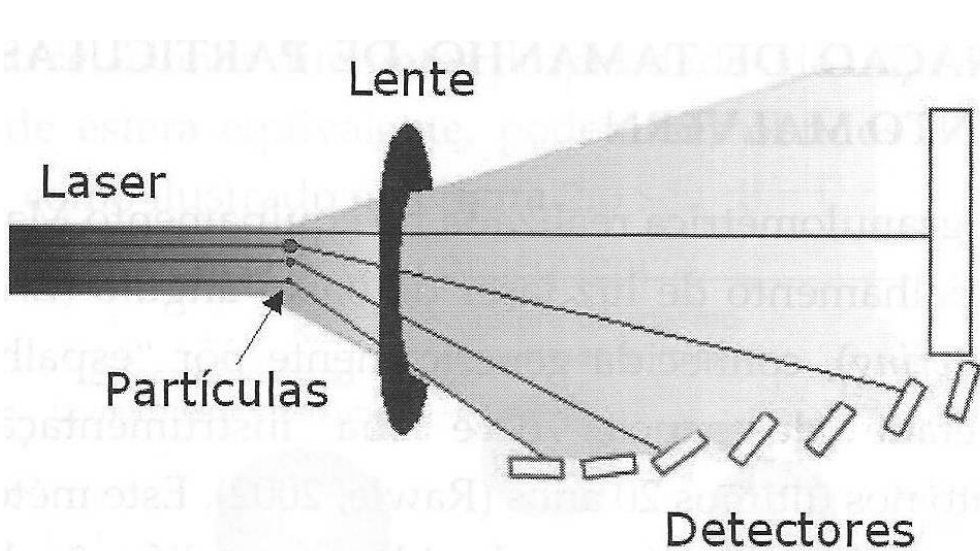
- Coulter

- Tubos de sedimentação

Análise Granulométrica

Malvern – utiliza a técnica de espalhamento de luz laser de baixo ângulo - LALLS - Low Angle Laser Light Scattering

Difração de laser – consiste na medição dos ângulos de difração do raio laser que são relacionados ao diâmetro da partícula



Partículas grossas espalham o raio a menores ângulos e vice-versa

Laser: fonte de luz $\lambda = 0,63 \mu\text{m}$

Detectores para espalhamento de luz – emitem mensagens para o computador que calcula os resultados

Representação da difração de laser ocorrida durante a análise de tamanho de partículas – João Alves

Análise Granulométrica**Malvern**

- **Uso de suspensões dispersadas**
- **Solubilidade dos minerais**
- **Inchamento**

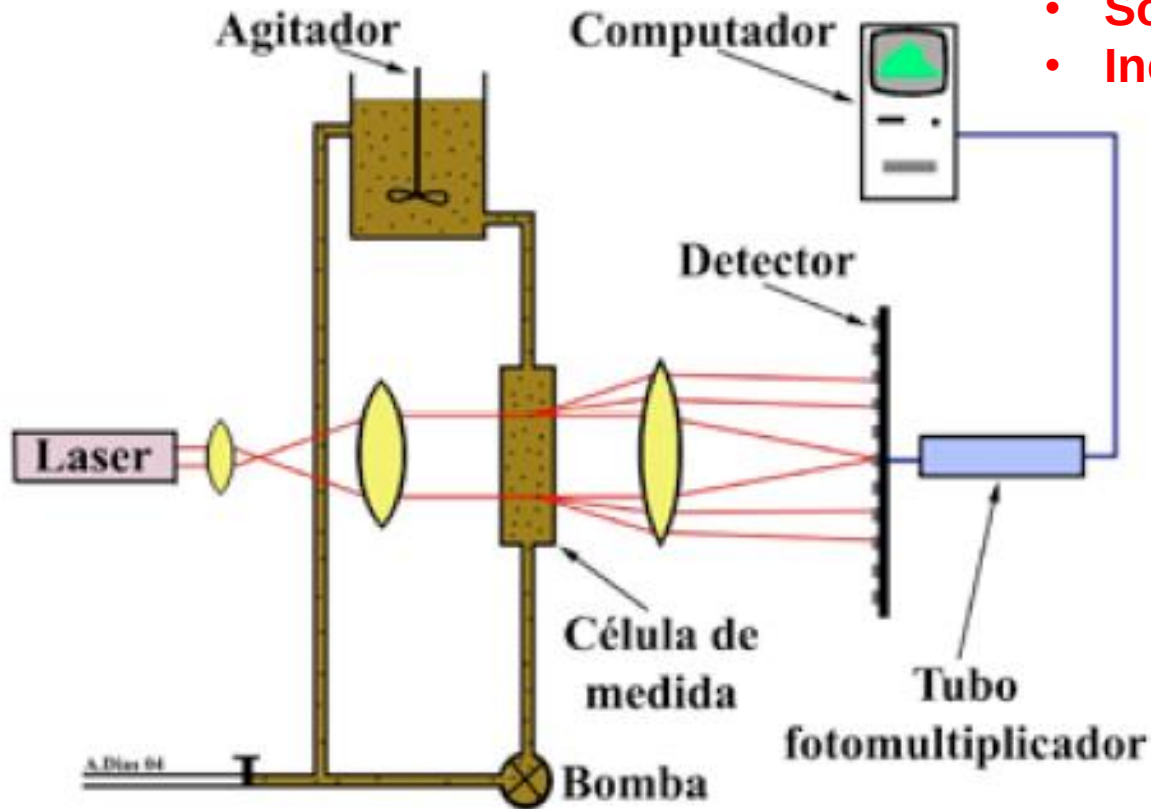
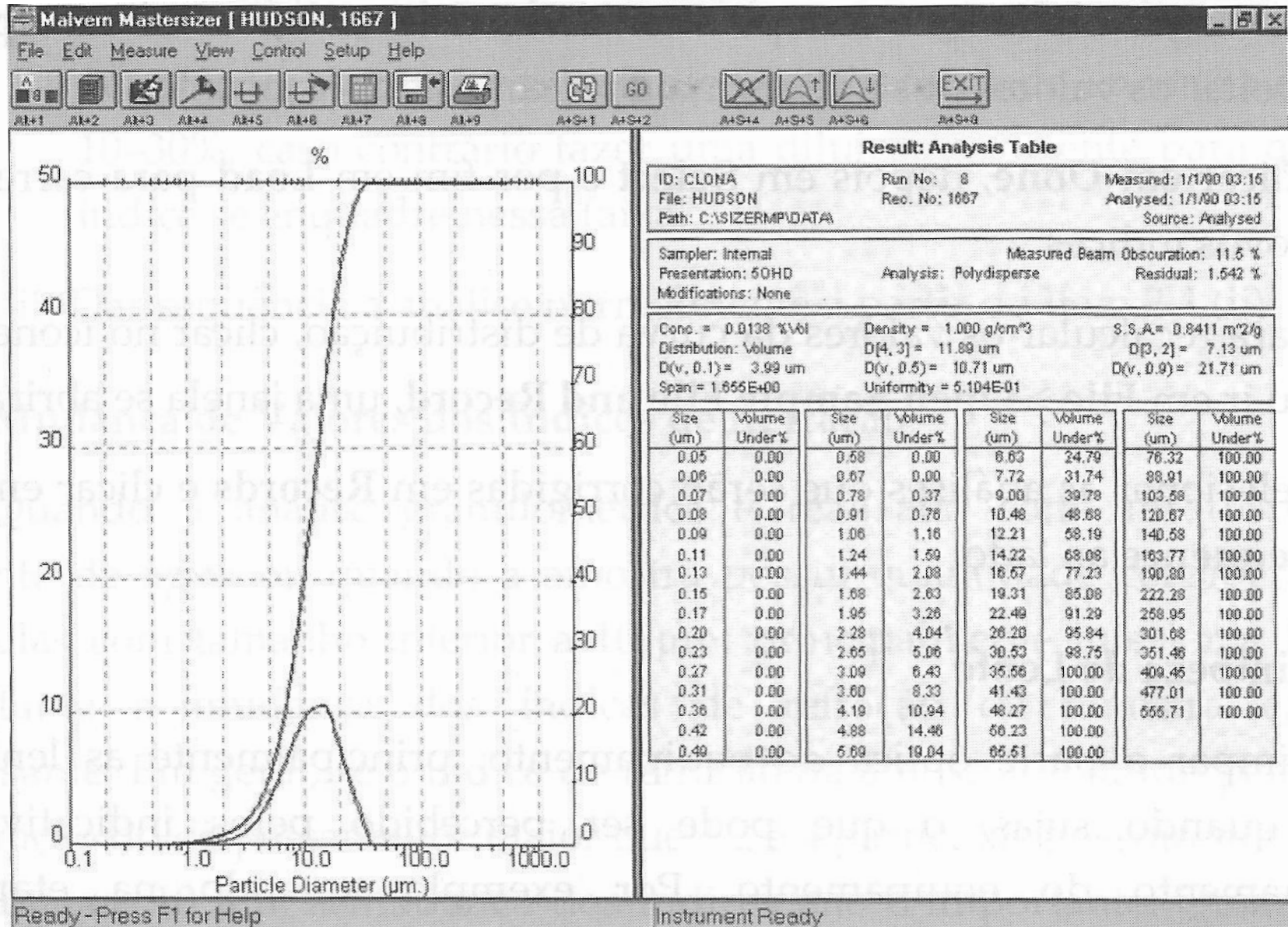


Fig. 29 - Esquema de funcionamento de um analisador por difracção laser.



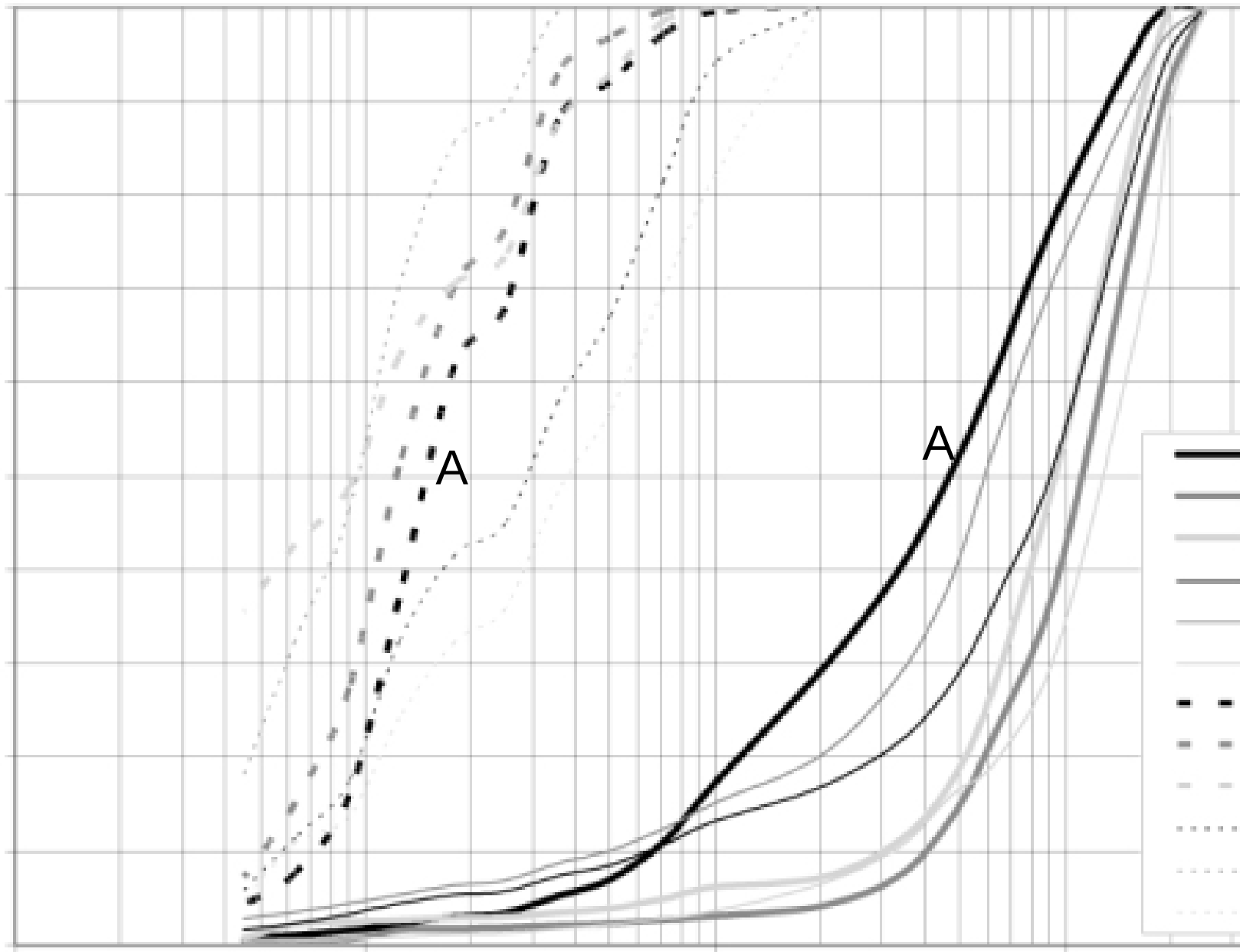




Foto do equipamento Malvern Mastersizer MicroPlus

Fonte João Alves Sampaio

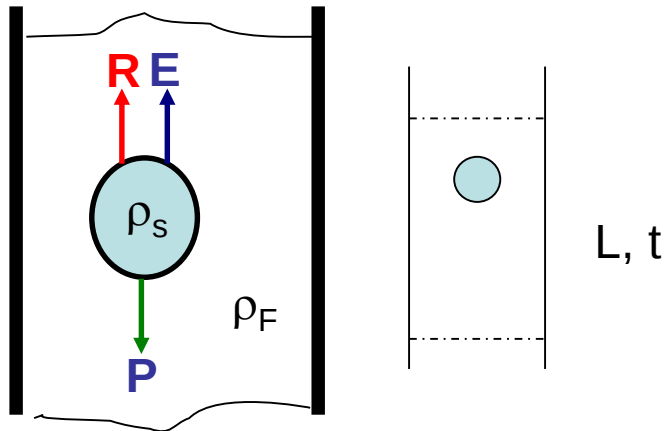
Malvern

- Requer equipamento de difração de laser de custo relativamente alto
- Dificuldade de aplicação para materiais com dimensões superiores a 2 mm

Análise granulométrica por sedimentação

Lei de Stokes

Velocidade terminal

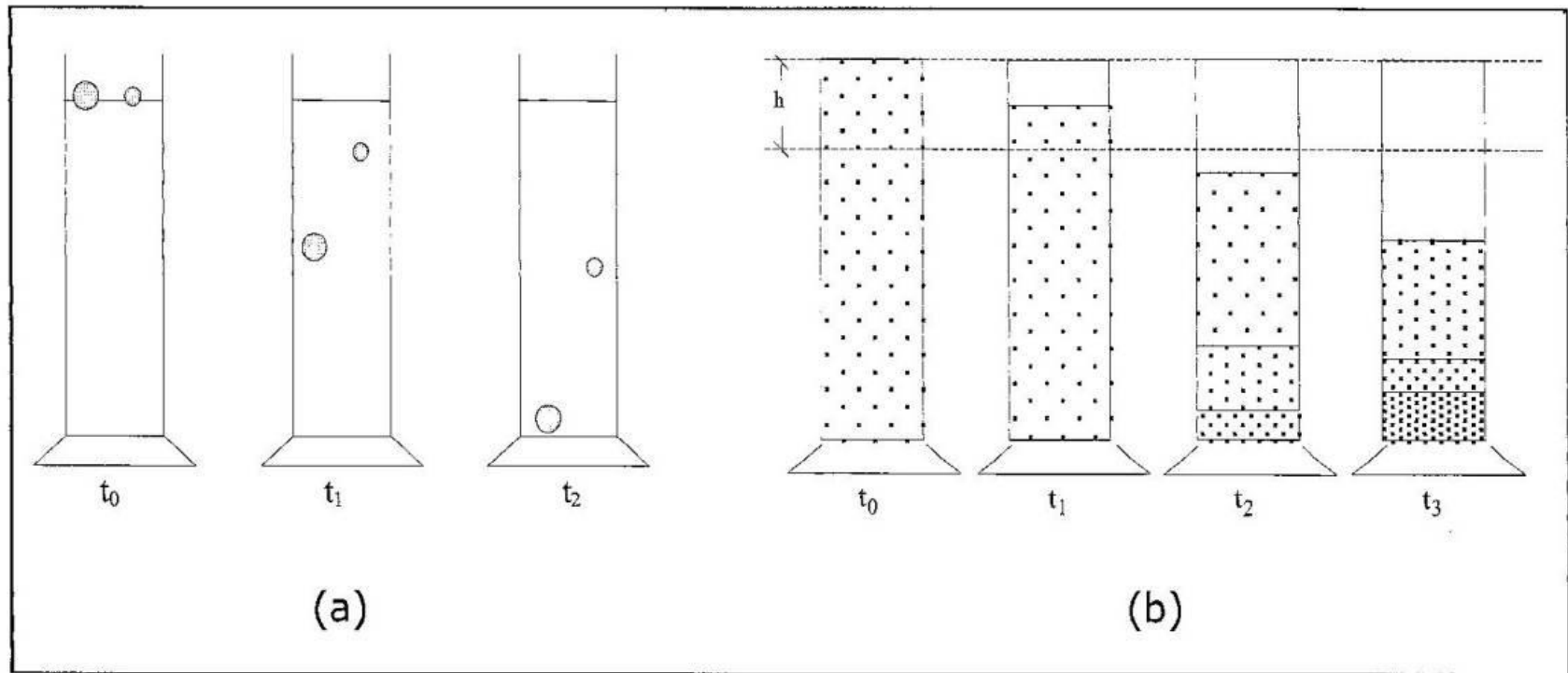


$$V_t = \frac{(\rho_s - \rho_F) D_p}{18\mu}$$

$$R_e = \frac{\rho_F V_t D_p}{\mu} < 0,3 \quad \text{regime laminar}$$

Análise granulométrica por sedimentação

$$V_t = \frac{(\rho_s - \rho_f) D_p^2}{18\mu}$$

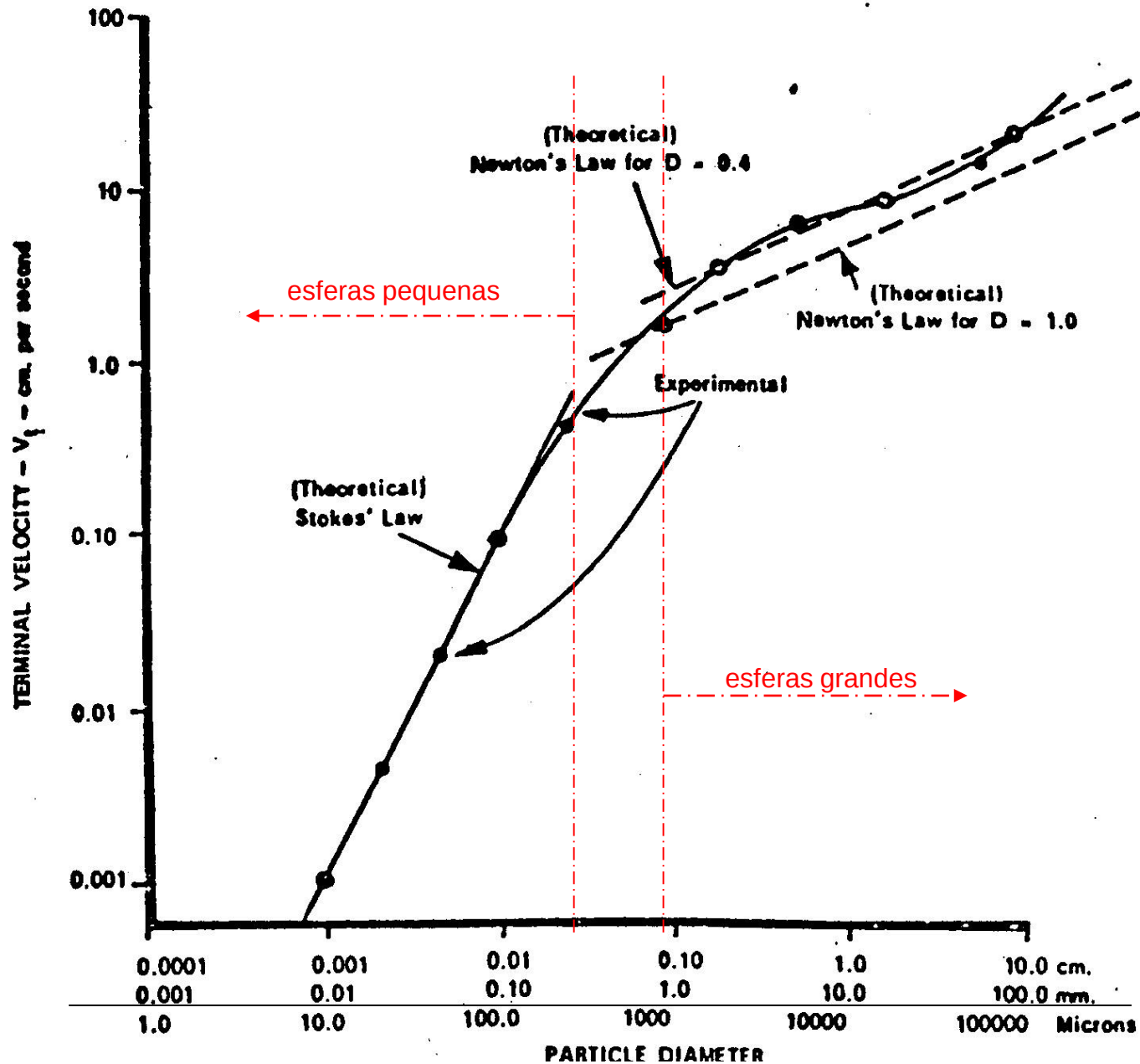


Esquema de sedimentação de partículas de mesma densidade e diferentes tamanhos:

a) Velocidade de sedimentação proporcional ao diâmetro da partícula

b) Etapas do processo de sedimentação de uma suspensão – João Alves

Tratamento de Minérios – Sedimentação e elutriação



Análise Granulométrica

Sedígrafo

- combinação da V_t e interação dos raios X com as partículas

**Tamanho de partículas em faixas.
Ex: 0,1 a 300 μm**

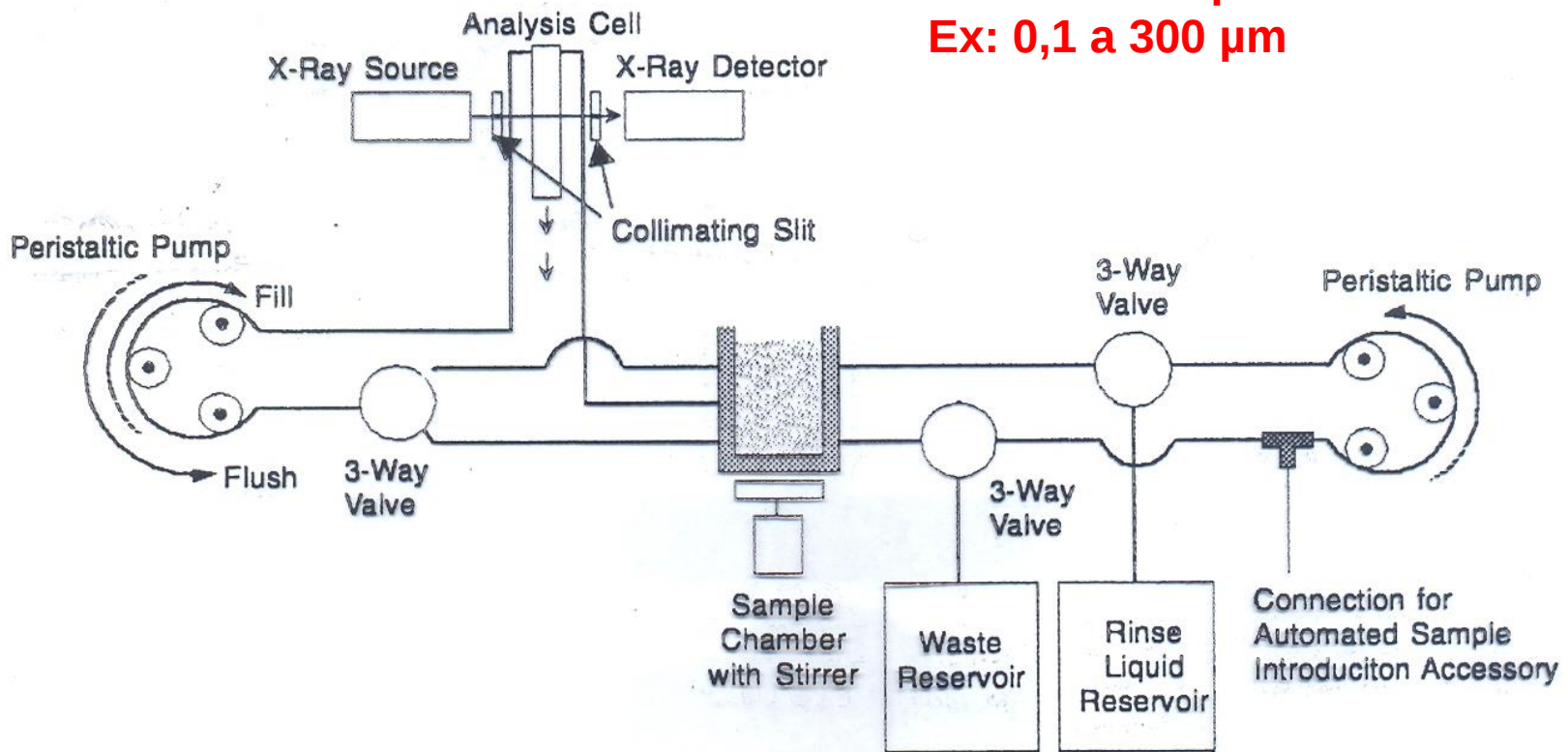


Diagrama esquemático de um Sedígrafo



Fig. 25 - O SediGraph III 5120 da Micromeritics.

Informações importantes obtidas a partir da Análise Granulométrica

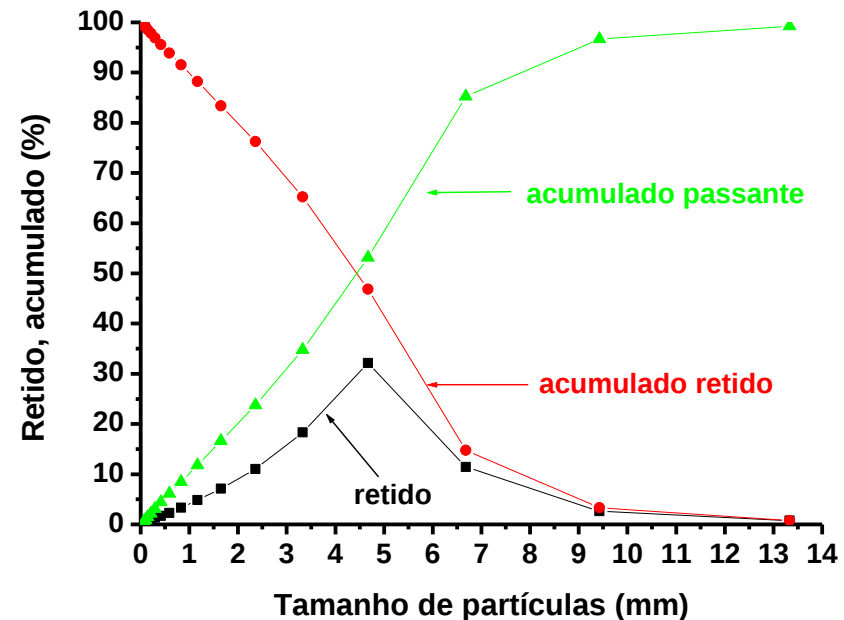
- 1 – Tamanhos máximo e mínimo de partículas
- 2 – Tamanho médio de partículas
- 3 – Curvas de distribuição de tamanho de partículas

4 – D_{10} D_{50} D_{80} D_{90}

5 – Cálculo da eficiência de peneiras industriais

6 – Grau de liberação

7 – Controle de especificações de produtos finais



F I M