



EXPERIMENTO 4: ESTUDO DO PERFIL DE EM ALETAS, SUPERFÍCIES ESTENDIDAS

RESULTADOS

✓ AVALIAR O PERFIL DE TEMPERATURA DE ALETAS EM FUNÇÃO DO TEMPO, COMPARANDO OS VALORES DE TEMPERATURA

Transferência de calor em superfícies estendidas

- **Aletas com seção transversal constante:**
- Solução:

$$\theta_{(x)} = C_1 e^{mx} + C_2 e^{-mx}$$

- Determinando as constantes:
- CC1 – Para $x = 0$ $T_{(x)} = T_b = \text{temp. da base.}$

$$\theta_{(b)} = C_1 + C_2$$

- CC2 – Para $x = L$, temos: Várias condições:

A - Convecção: $-kd\theta / dx|_{x=L} = h\theta(L)$

B - Adiabático: $d\theta / dx|_{x=L} = 0$

C - Temperatura especificada: $\theta(L) = \theta_L$

D - Aleta Longa ($mL > 2.65$): $\theta(L) = 0$



EXPERIMENTO 4: ESTUDO DO PERFIL DE EM ALETAS, SUPERFÍCIES ESTENDIDAS

Equações:

Tabela1 – Distribuição de temperatura e perda de calor para aletas de seção transversal uniforme.

Case	Tip Condition ($x = L$)	Temperature Distribution θ/θ_b	Fin Heat Transfer Rate q_f
A	Convection heat transfer: $h\theta(L) = -kd\theta/dx _{x=L}$	$\frac{\cosh m(L-x) + (h/mk) \sinh m(L-x)}{\cosh mL + (h/mk) \sinh mL}$ (3.70)	$M \frac{\sinh mL + (h/mk) \cosh mL}{\cosh mL + (h/mk) \sinh mL}$ (3.72)
B	Adiabatic $d\theta/dx _{x=L} = 0$	$\frac{\cosh m(L-x)}{\cosh mL}$ (3.75)	$M \tanh mL$ (3.76)
C	Prescribed temperature: $\theta(L) = \theta_L$	$\frac{(\theta_L/\theta_b) \sinh mx + \sinh m(L-x)}{\sinh mL}$ (3.77)	$M \frac{(\cosh mL - \theta_L/\theta_b)}{\sinh mL}$ (3.78)
D	Infinite fin ($L \rightarrow \infty$): $\theta(L) = 0$	e^{-mx} (3.79)	M (3.80)

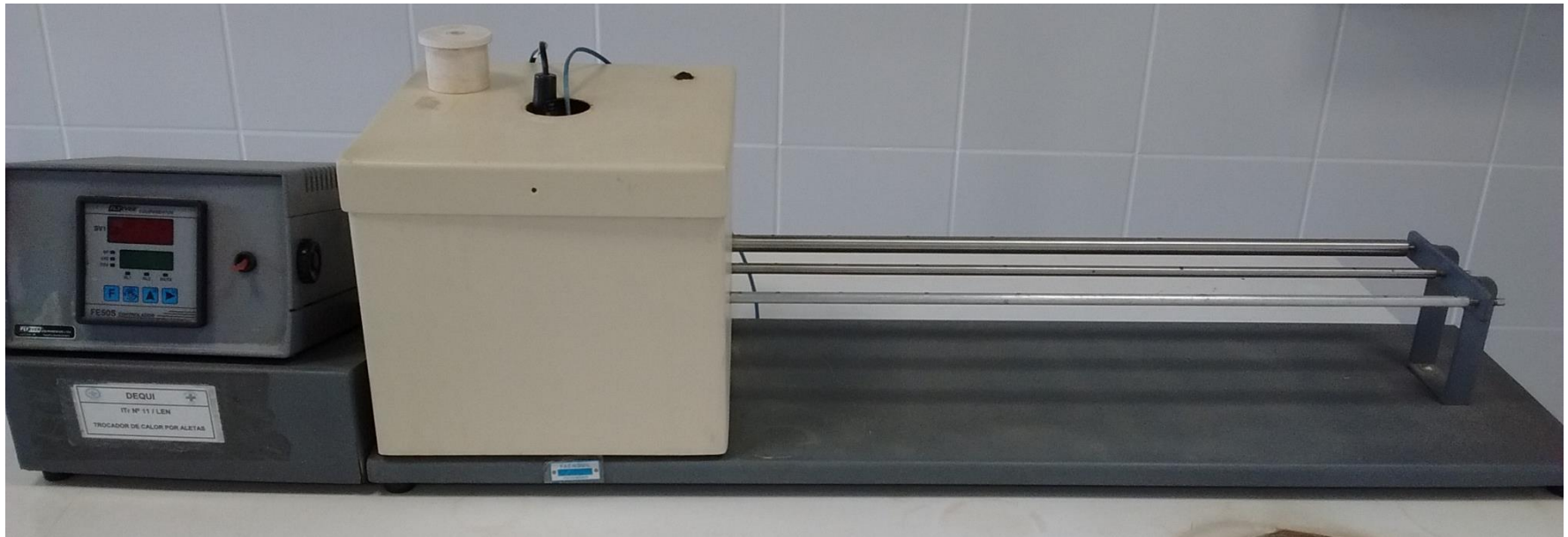
$$\theta = T - T_\infty \quad m^2 \equiv hP/kA_c$$

$$\theta_b = \theta(0) = T_b - T_\infty \quad M \equiv \sqrt{hPkA_c} \theta_b$$



EXPERIMENTO 4: ESTUDO DO PERFIL DE EM ALETAS, SUPERFÍCIES ESTENDIDAS

Equipamento





EXPERIMENTO 4: ESTUDO DO PERFIL DE EM ALETAS, SUPERFÍCIES ESTENDIDAS

Equipamento

Aletas:





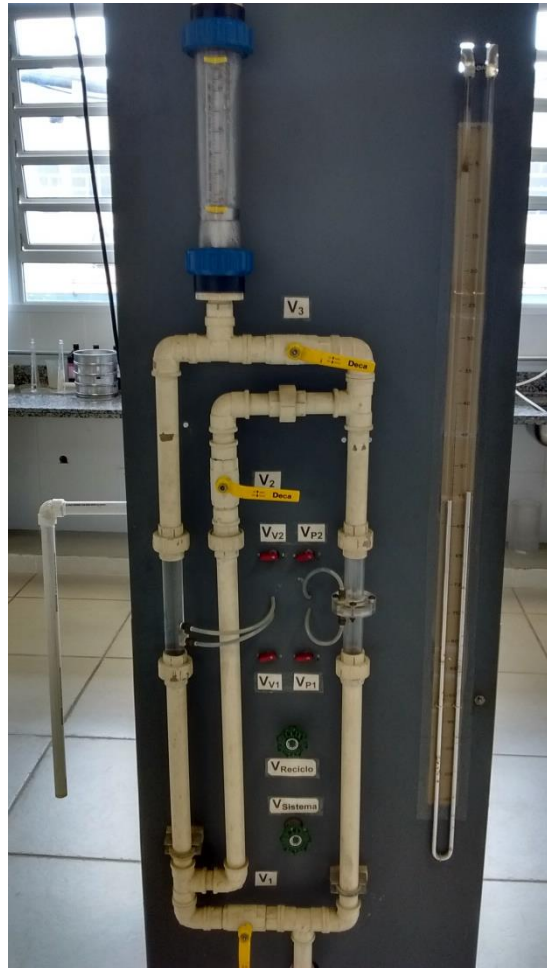
EXPERIMENTO 4: ESTUDO DO PERFIL DE EM ALETAS, SUPERFÍCIES ESTENDIDAS

Tabela dos dados do experimento 4 (aletas)

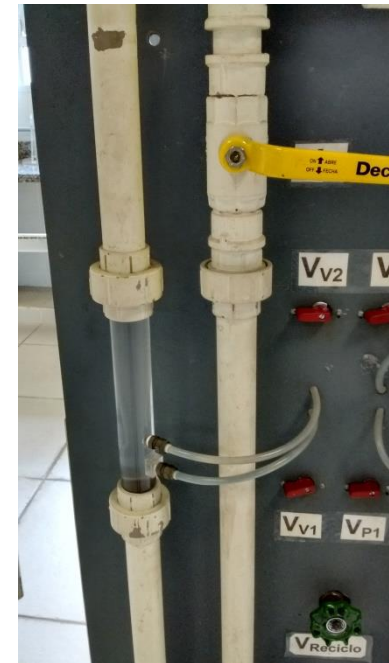
Aletas	temp	Pontos						
		1	2	3	4	5	6	7
A	temp1							
	temp2							
	temp3							
	Média							
B	temp1							
	temp2							
	temp3							
	Média							
C	temp1							
	temp2							
	temp3							
	Média							



EXPERIMENTO 5: ESTUDO DA MEDIÇÃO DA VAZÃO EM ROTÂMETRO, PLACA DE ORIFÍCIO E TUBO DE VENTURE



O sistema completo do experimento.

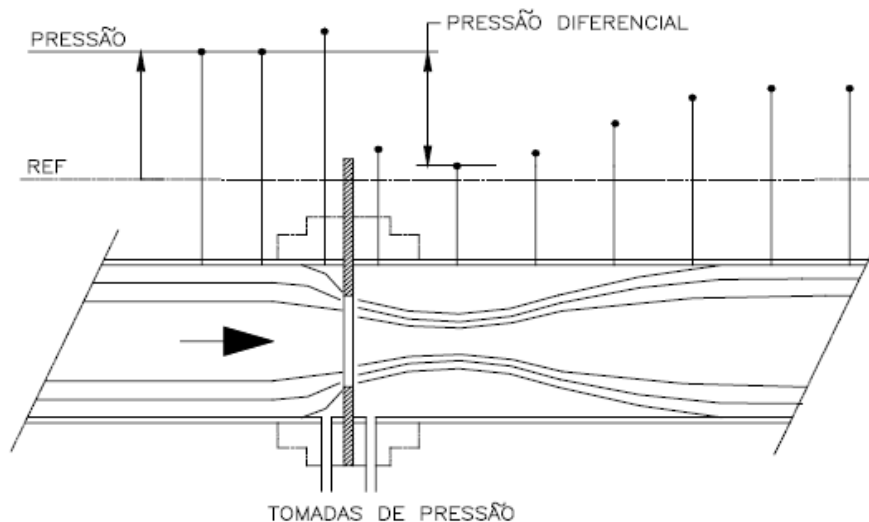




EXPERIMENTO 5: ESTUDO DA MEDIÇÃO DA VAZÃO EM ROTÂMETRO, PLACA DE ORIFÍCIO E TUBO DE VENTURE

Operação:

Os elementos geradores de pressão diferencial constituem-se em restrições para o fluxo quando montados em tubos; a análise do comportamento da pressão indica estabilidade na região montante do elemento primário, com pequeno aumento na região adjacente à placa; após a passagem do fluido pelo orifício ocorre uma queda brusca na pressão, iniciando-se, posteriormente, a recuperação parcial, completada na região de 8 diâmetros na jusante da placa.





EXPERIMENTO 5: ESTUDO DA MEDIÇÃO DA VAZÃO EM ROTÂMETRO, PLACA DE ORIFÍCIO E TUBO DE VENTURE

Equações:

VAZÃO VOLUMÉTRICA
VAZÃO MÁSSICA

$$Q = K (\Delta P)^{0.5}$$
$$W = K (\Delta P)^{0.5}$$

Sendo:

Q = vazão em volume

W = vazão em massa

K = constante da medição

ΔP = pressão diferencial



EXPERIMENTO 6: ESTUDO DA COMINUIÇÃO E ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DE SÓLIDOS GRANULARES

Peneiração:





EXPERIMENTO 6: ESTUDO DA COMINUIÇÃO E ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DE SÓLIDOS GRANULARES

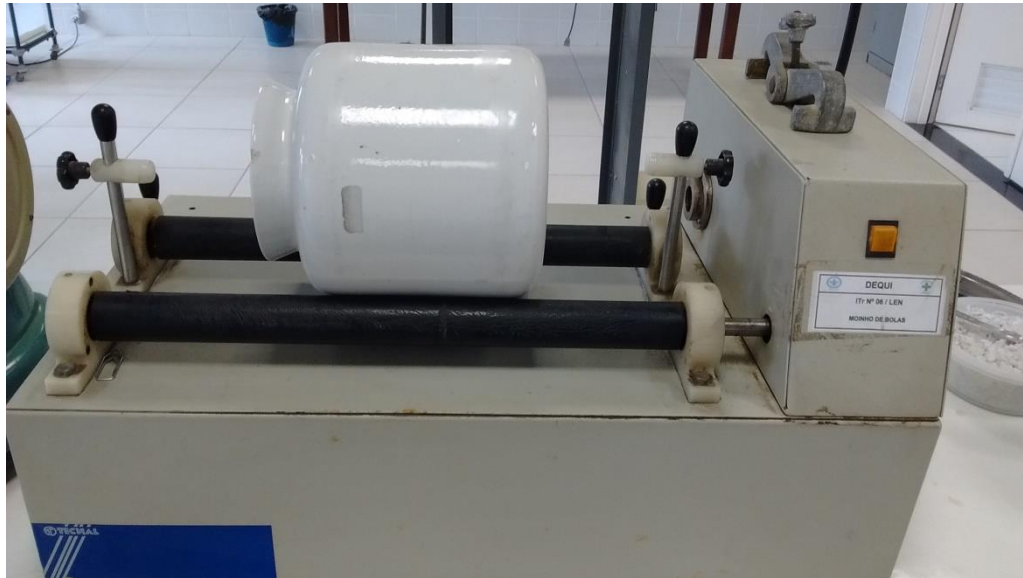
Tabela : Série Padrão Tyler

Mesh	Abertura Livre (cm)	Diâmetro do fio (in)
2 ½	0,7925	0,088
3	0,6680	0,070
3 ½	0,5613	0,065
4	0,4699	0,065
6	0,3327	0,036
8	0,2362	0,032
10	0,1651	0,035
14	0,1168	0,028
20	0,0833	0,0172
28	0,0589	0,0125
35	0,0417	0,0122
48	0,0295	0,0092
65	0,0208	0,0072
100	0,0147	0,0042
150	0,0104	0,0026
200	0,0074	0,0021



EXPERIMENTO 6: ESTUDO DA COMINUIÇÃO E ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DE SÓLIDOS GRANULARES

Moinho de bolas:





EXPERIMENTO 6: ESTUDO DA COMINUIÇÃO E ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DE SÓLIDOS GRANULARES

TABELA - Índice de trabalho para redução de tamanho a seco* ou a úmido

MATERIAL	Densidade (g/cm ³)	W _i (kWh/ton)
Bauxita	2,20	8,7
Cimento clínquer	3,15	13,45
Cimento bruto	2,67	10,51
Argila	2,51	6,30
Carvão	1,4	13,00
Coque	1,31	15,13
Granito	2,66	15,13
Minério de gesso	2,69	6,73
Cascalho	2,66	16,06
Min. de ferro (hematita)	3,53	12,84
Mineral de fosfato	2,74	9,92
Quartzo	2,65	13,57
Basalto	2,87	19,32

Análise Granulométrica

- **PENEIRAÇÃO**

- A peneiração consiste em fazer passar a partícula através de malhas progressivamente menores, até que ela fique retida. O tamanho da partícula será compreendido entre a média da malha que reteve (D_1) e a imediatamente anterior (D_2). A média aritmética das aberturas dessas malhas servirá para caracterizar o tamanho físico da partícula (D).

$$D = \frac{D_1 + D_2}{2}$$

- Dessa forma características importantes do material poderão ser obtidas em função de D :

1) Superfície externa de cada partícula (s): $s = aD^2$

- Ex: Para esfera (tamanho característico D = diâmetro)
 $s = \pi D^2$, portanto $a = \pi$.
- Ex: Para o cubo (tamanho característico D = aresta) $s = 6D^2$,
portanto $a = 6$.

Análise Granulométrica

2) Volume da Partícula (V) $V = bD^3$.

- Para a esfera : $V = \pi/6 D^3$, $b = \pi/6$.
- Para o cubo: $V = D^3$, $b = 1$

3) Fator de forma (λ) $\lambda = a/b$.

- Para cubos e esferas $\lambda = 6$.
- Muitos produtos de operação de moagem possuem $\lambda = 10,5$.
- Para muitos tipos de pós, o valor varia de 7 a 8.
- Para partículas laminares de mica, $\lambda \approx 55$.

4) Números de partículas da amostra (N):

$$N = \frac{V_{amostra}}{V_{particula}} = \frac{m/\rho}{bD^3} = \frac{m}{bD^3\rho}$$

$$N = \frac{m}{bD^3\rho}$$

Análise Granulométrica

5) Superfície externa total (S):

$$S = sN = aD^2 \frac{m}{bD^3\rho} = \frac{\lambda m}{D\rho} = \frac{\lambda V}{D}$$

6) Superfície específica $S_{\text{esp.}} = S/m = \lambda/D\rho$

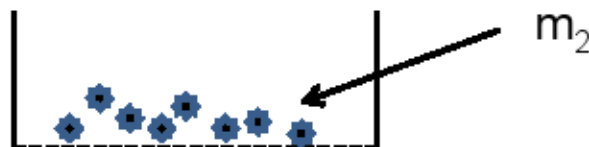
PENEIRAÇÃO:

Sistema de peneiras – série Tyler, mais usada.

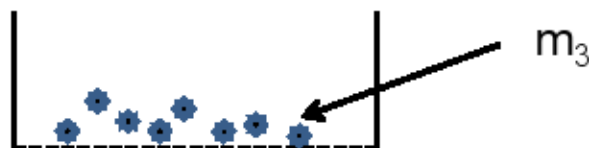
3 mesh (maior abertura)



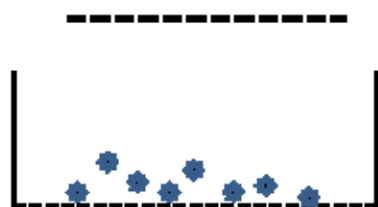
4 mesh



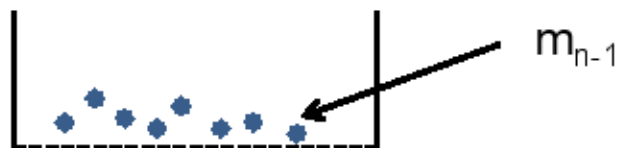
6 mesh



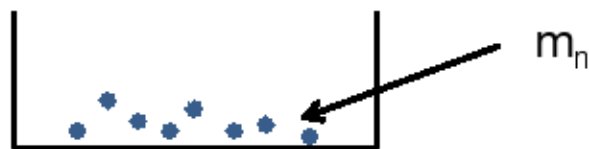
150 mesh



200 mesh



Fundo



Sendo:

$$\Delta\varphi_i = \frac{m_i}{M}$$

- $\Delta\varphi_i$ = Fração mássica retida em cada peneira .

- $M = m \sum \Delta\varphi_i$

- **Número de partículas (N).**

- Para materiais homogêneos:

$$N = \frac{m}{bD^3\rho}$$

- Para materiais heterogêneos: **Peneiração**

$$N = \frac{m\Delta\varphi_1}{bD_1^3\rho} + \frac{m\Delta\varphi_2}{bD_2^3\rho} + \frac{m\Delta\varphi_3}{bD_3^3\rho} + \dots + \frac{m\Delta\varphi_n}{bD_n^3\rho}$$

Análise Granulométrica

- Portanto: o número de partícula será:
- **Para análise granulométrica diferencial**

$$N = \frac{m}{b\rho} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta\varphi_i}{D_i^3}$$

- **Para análise acumulativa (método integral)**

$$N = \frac{m}{b\rho} \int_0^{\varphi_n} \frac{d\varphi}{D^3}$$

- OBS: O método integral é mais preciso que o diferencial.

Análise Granulométrica

❑ Superfície externa (S):

Para materiais homogêneos :
$$S = \frac{\lambda m}{D\rho}$$

Para materiais heterogêneos:

Para análise granulométrica diferencial

$$S = \frac{M\lambda}{\rho} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta\varphi_i}{D_i}$$

Para análise acumulativa (método integral)

$$S = \frac{M\lambda}{\rho} \int_0^{\varphi_n} \frac{d\varphi}{D}$$

Exercícios:

- 1) Vinte gramas de uma amostra de café solúvel, com partículas esféricas ($a = \pi$ e $b = \pi/6$) de $\rho = 1,5 \text{ g/cm}^3$, foram submetidas à uma análise granulométrica, obteve-se os seguintes resultados abaixo:

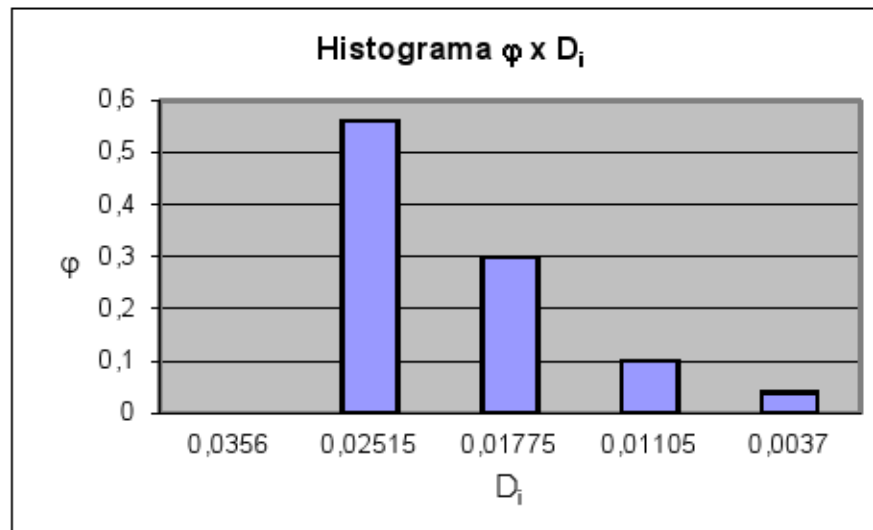
Malha (mesh)	Massa retida (g)
35	0
48	0
65	11,2
100	6
200	2
Fundo	0,8

Determine o número de partículas e a área superficial total da amostra, utilizando os métodos diferencial e integral (acumulativo).

Solução:

Método Diferencial

Mesh	massa retida (g)	Mesh	ϕ	$D_{i(\text{médio})}$	$1/D_i$	$1/D_i^3$	ϕ/D_i^3	ϕ/D_i
35	0	-	0					
48	0	35 - 48	0	0,0356				
65	11,2	48 - 65	0,56	0,02515	39,761	62861,7	35203	22,266
100	6	65 - 100	0,3	0,01775	56,338	178815,4	53645	16,901
200	2	100 - 200	0,1	0,01105	90,498	741162,0	74116	9,050
Fundo	0,8	200 - fundo	0,04	0,0037	270,270	19742167,3	789687	10,811
total	20							
						A(total)	952650	59,028
	N =	2,426E+07	Partículas					
	S =	4722						
			cm ²					



Método Acumulativo (integral)

Mesh	φ	D_i	$1/D_i$	$(\varphi_2 - \varphi_1)/2$	$[(1/D_i) + (1/D_{i+1})]$	A1	$1/D_i^3$	B =	A2
48	0	0,0295	33,898	-	-	-	38952	-	-
65	0,56	0,0208	48,077	0,280	81,975	22,953	111125	150077	42022
100	0,86	0,0147	68,027	0,150	116,104	17,416	314810	425934	63890
200	0,96	0,0074	135,135	0,050	203,162	10,158	2467771	2782581	139129
Fundo	1	0,0037	270,270	0,020	405,405	8,108	19742167	22209938	444199
					A(total1)	58,635		A(total2)	689239

N =	1,76E+07	Partículas cm ²
S =	4691	

Gráfico $1/D_i \times \varphi$

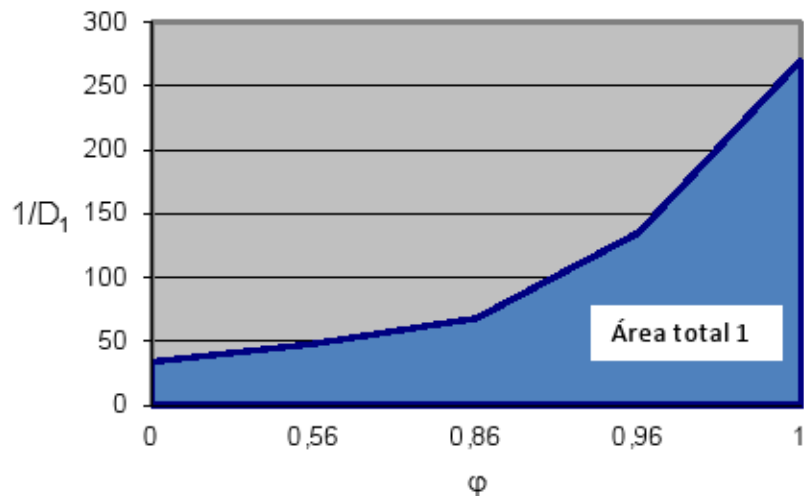
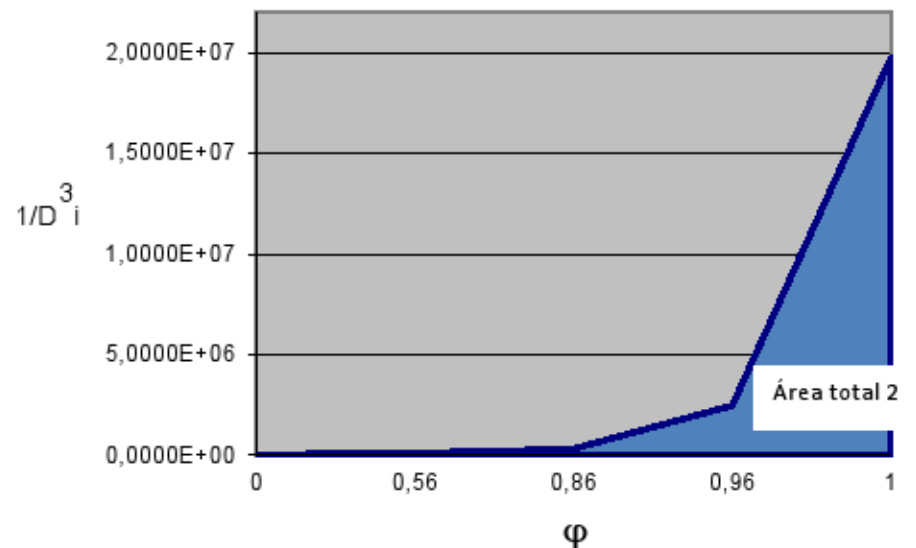


Gráfico Integral acumulativo ($1/D_i^3 \times \varphi$)



Diâmetro médio da partícula baseados nas análises granulométricas

- Existem vários tipos de média que podem ser definidos para um dado material.
- O método de Bond tem se revelado útil pela rapidez da determinação: O diâmetro médio da amostra é adotado igual à abertura da peneira através da qual passam 80 % do material, o diâmetro correspondente é $1 - \varphi_i = 0,8$.

Diâmetro médio da partícula baseados nas análises granulométricas

- Diâmetro médio aritmético ($\bar{D}_a$).
- Multiplicando o diâmetro desta partícula pelo número total de partículas obteremos a soma de todos os diâmetros da amostra.

$$\bar{D}_a = \frac{N_1\bar{D}_1 + N_2\bar{D}_2 + \dots + N_n\bar{D}_n}{N_1 + N_2 + \dots + N_n} = \frac{\sum_1^n N_i\bar{D}_i}{\sum_1^n N_i}$$

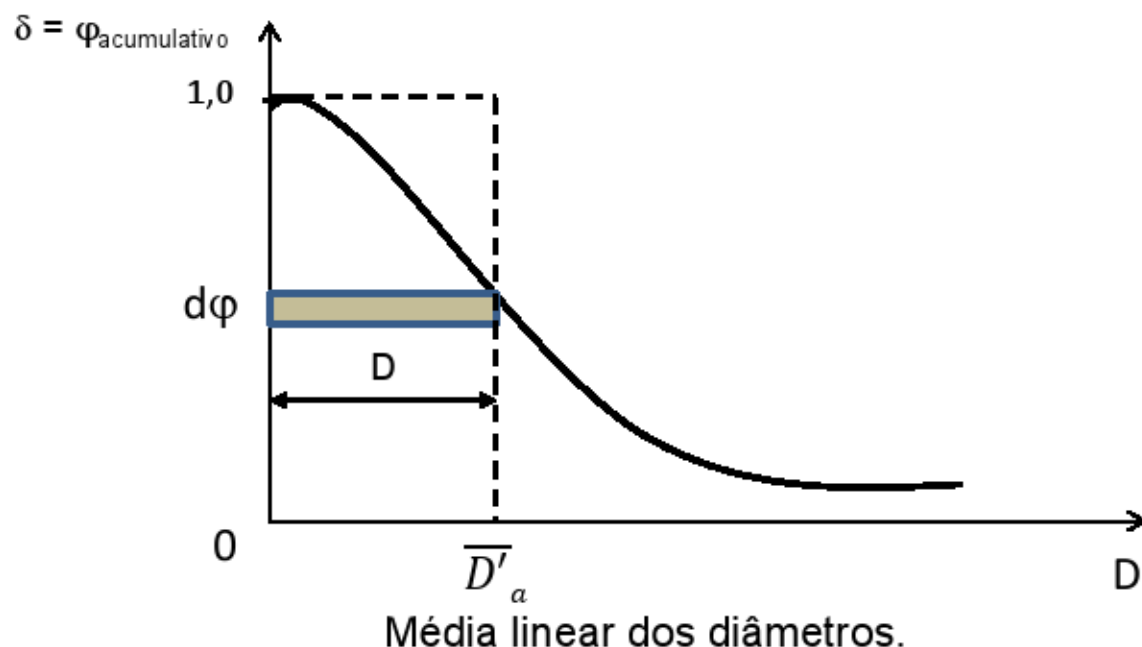
Usando os dados da análise granulométrica diferencial, temos:

$$\bar{D}_a = \frac{\sum_1^n \frac{M\Delta\varphi_i}{b\bar{D}_i^3} \bar{D}_i}{\sum_1^n \frac{M\Delta\varphi_i}{b\bar{D}_i^3} \rho} = \frac{\sum_1^n \frac{\Delta\varphi_i}{\bar{D}_i^2}}{\sum_1^n \frac{\Delta\varphi_i}{\bar{D}_i^3}} \text{ para AGA}$$

$$\boxed{\bar{D}_a = \frac{\int_0^1 \frac{d\varphi}{D^2}}{\int_0^1 \frac{d\varphi}{D^3}}}$$

Diâmetro médio da partícula baseados nas análises granulométricas

- Média linear dos diâmetros ($\overline{D}'_a$).
- Não se trata de um diâmetro médio, mas de uma grandeza estatística e que tem importância no estudo da evaporação de gotículas no seio de gases, como na produção de fertilizantes ou café solúvel.



$$\overline{D}'_a = \frac{\int_0^1 \frac{d\varphi}{D}}{\int_0^1 \frac{d\varphi}{D^2}} \text{ para AGAR}$$

$$\overline{D}'_a = \frac{\sum_1^n \frac{\Delta\varphi_i}{\overline{D}_i}}{\sum_1^n \frac{\Delta\varphi_i}{\overline{D}_i^2}} \text{ para AGD}$$

Diâmetro médio da partícula baseados nas análises granulométricas

- Diâmetros médio superficial ($\bar{D}_s$).

$$\bar{D}_s = \sqrt{\frac{\int_0^1 \frac{d\phi}{D}}{\int_0^1 \frac{d\phi}{D^3}}} \text{ para AGAR}$$

$$\bar{D}_s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \frac{\Delta\phi_i}{\bar{D}_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{\Delta\phi_i}{\bar{D}_i^3}}} \text{ para AGD}$$

Média superficial dos diâmetros ($\bar{D}'_s$).

$$\bar{D}'_s = \frac{1}{\int_0^1 \frac{d\phi}{D}} \text{ para AGAR}$$

$$\bar{D}'_s = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{\Delta\phi_i}{\bar{D}_i}} \text{ para AGD}$$

- Diâmetro médio volumétrico ($\bar{D}_v$).

$$\bar{D}_v = \sqrt[3]{\frac{1}{\int_0^1 \frac{d\phi}{D^3}}} \text{ para AGAR}$$

$$\bar{D}_v = \sqrt[3]{\frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{\Delta\phi_i}{\bar{D}_i^3}}} \text{ para AGD}$$

Exercícios:

Uma amostra de 100g de quartzo triturado apresenta análise granulométrica a seguir. Os valores a e b do fator de forma são respectivamente 3,5 e 2. Calcular a superfície total e o número de partícula da amostra: $\rho = 2,65 \text{ g/cm}^3$.

- Utilizando o método diferencial.
- Utilizando o método integral (método dos trapézios).
- Utilizando um programa de computador para determinar a área abaixo da curva no método integral.
- O diâmetro médio superficial.
- O diâmetro médio volumétrico.

Malhas	Massa (g)
4	0
6	2,51
8	12,50
10	32,07
14	25,70
20	15,90
28	5,38
35	3,12
48	1,35
65	0,77
100	0,70