

Operações Unitárias I

Propriedades e mistura de sólidos particulados

Operações Unitárias

O processamento industrial de matérias primas faz-se através de diferentes tratamentos sequenciais.

Cada um destes tratamentos pode ser estudado de uma maneira individual e independente da matéria prima em processamento.

“Operação Unitária é toda a unidade do processo onde os materiais sofrem alterações no seu estado físico ou químico e que pode ser projectada com base em princípios físico/químicos comuns”

O conceito de operação unitária permite analisar qualquer tratamento tecnológico, calcular o comportamento das matérias primas, fazer estudos de optimização e previsão de resultados fabris.

Este conceito foi introduzido na Engenharia Química, pela primeira vez, por Arthur D. Little em 1915

São diversas e cada vez em maior número as Operações Unitárias que se usam no processo de fabrico, mas podemos organiza-las em quatro grandes grupos, tendo em conta os princípios físico/químicos subjacentes:

Operações baseadas em:

- **Transferência da Quantidade de Movimento**
- **Transferência de Massa**
- **Transferência de Calor**
- **Transferência de Calor e Massa em simultâneo**

A aplicação das operações unitárias à **engenharia alimentar** encontra algumas **dificuldades**:

- Complexidade e natureza biológica das matérias primas (heterogeneidade física, anatômica, química)
- Complexidade dos produtos finais e exigências do consumo alimentar (aceitação organoléptica, por ex.)
- Escassez de dados sobre as matérias-primas e os produtos (propriedades físicas, térmicas, etc.)



1. Propriedades e mistura de sólidos particulados

1.1 Caracterização de uma partícula sólida

As partículas sólidas individuais caracterizam-se pela sua:

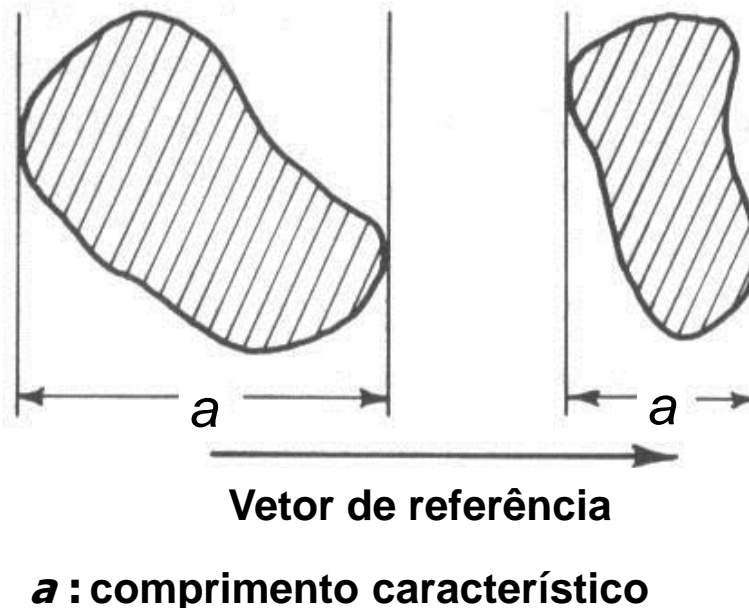
- **Dimensão**
 - **Forma**
- } Facilmente especificada para sólidos regulares
- **Densidade:** sólidos homogéneos $\Rightarrow \rho = \text{constante}$;
sólidos heterogéneos $\Rightarrow \rho = \text{variável}$;

Os sólidos homogéneos dão origem a partículas com a mesma densidade do material original. Quando um sólido é um composto, as partículas obtidas possuem geralmente densidades diferentes e também diferente densidade do material original

Dimensão: definida pela dimensão linear de maior importância

equidimensionais – caracterizada pelo D_p (esfera – diâmetro; cubo – lado)

não equidimensionais – **caracterizado pelo 2ª maior dimensão.**



Forma

A forma de uma partícula pode ser expressa em termos de **esfericidade** Φ_s ,

(independente das dimensões das partículas)

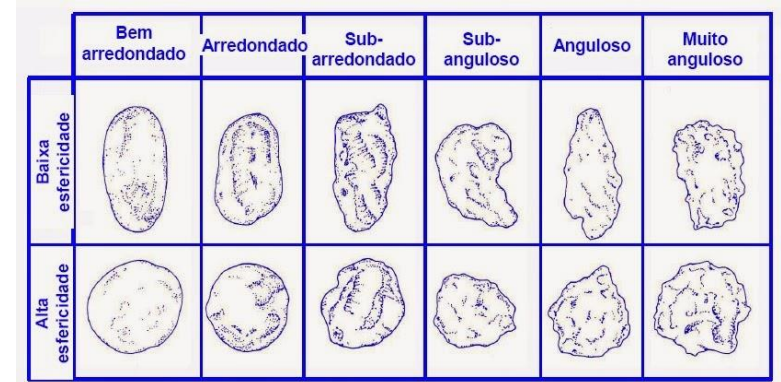
$$\Phi_s = \frac{6v_p}{D_{eq} S_p} \quad (1)$$

Onde:

D_{eq} = diâmetro equivalente ou nominal da partícula

S_p = área superficial de uma partícula

v_p = volume de uma partícula.



Logo : $\Phi_s = 1$ para uma partícula esférica
 $\Phi_s < 1$ para qualquer outra forma

D_{eq} = diâmetro equivalente ou nominal da partícula = diâmetro de uma esfera de igual volume

$$D_{eq} = \sqrt[3]{v_p \frac{6}{\pi}}$$

Difícil de determinar S_p e v_p para materiais finamente granulados, assumir o D_{eq} como o valor nominal dado pela análise de crivagem.

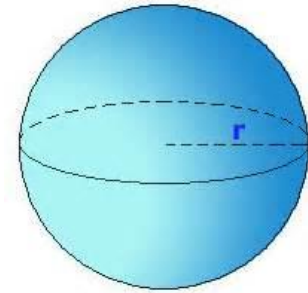
Esferas:

$$\Phi_s = 1$$

$$v_{esf} = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{\pi}{6} D^3$$

$$A_{esf} = 4\pi r^2 = \pi D^2$$

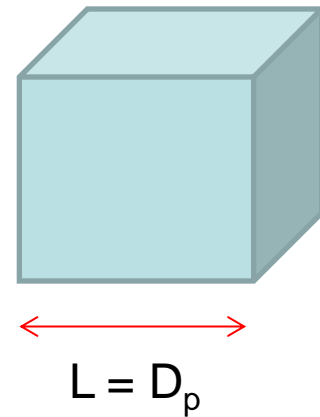
$$\Phi_s = \frac{6v_p}{D_{eq} S_p}$$



**Cubos e pequenos cilindros ($L=D_p$)
considera-se $\Phi_s = 1$**

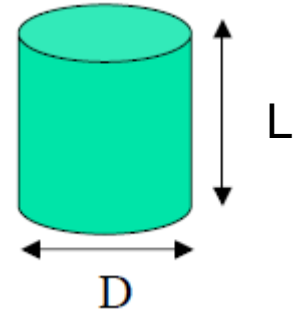
Cubo:

$$\frac{S_p}{v_p} = \frac{6L^2}{L^3} = \frac{6}{L} \equiv \frac{6}{D_p} \Rightarrow \Phi_s = \frac{6}{D_p} \times \frac{D_p}{6} = 1$$



Cilindro: $D = L$

$$v_p = \pi \frac{D_p^2}{4} \times L = \frac{\pi D_p^3}{4}$$



$$D_p = L \Rightarrow S_p = 2\pi \frac{D_p^2}{4} + \pi D_p^2 = \pi D_p^2 \left(\frac{2}{4} + 1 \right)$$

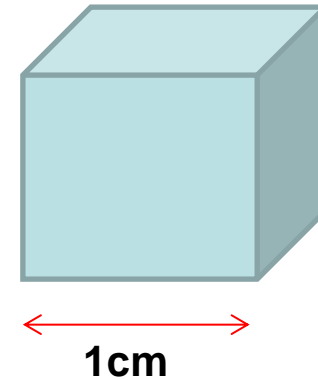
$$S_p = \frac{6}{4} \pi D_p^2$$

$$\Phi_s = \frac{6v_p}{D_{eq} S_p}$$

$$\frac{S_p}{v_p} = \frac{6\pi D_p^2 \times 4}{4 \times \pi D_p^3} = \frac{6}{D_p} \Rightarrow \Phi_{cilind} = 1$$

Problemas

1. Determine a esfericidade de uma partícula com as seguintes dimensões: espessura = 0,5 mm; largura = 8 mm; comprimento = 14 mm



2. Determine a esfericidade de uma partícula esférica com 3 cm de diâmetro e com um furo com diâmetro de 1 cm.

$$v_{esf} = \frac{\pi}{6} D^3$$

$$A_{esf} = \pi D^2$$

$$\Phi_s = \frac{6v_p}{D_{eq} S_p}$$

$$D_{eq} = \sqrt[3]{v_p \frac{6}{\pi}}$$

2. Determine a esfericidade de uma partícula com as seguintes dimensões

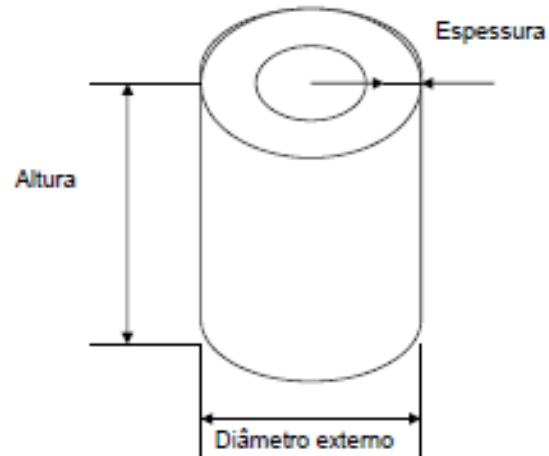
Diâmetro externo = 1,27 cm

Altura = 1,27 cm

Espessura da parede 0,31 cm

$$D_{eq} = \sqrt[3]{\frac{V_p \cdot 6}{\pi}}$$

$$\phi_s = \frac{6V_p}{D_{ep} S_p}$$



O volume do cilindro:

$$V_p = \pi \left(\frac{Dex}{2} \right)^2 \cdot H - \pi \left(\frac{Dex}{2} - espessura \right)^2 \cdot H$$

$$V_p = \pi \left(\frac{1,27}{2} \right)^2 \cdot 1,27 - \pi \left(\frac{1,27}{2} - 0,3175 \right)^2 \cdot 1,27$$

$$V_p = 1,206 \text{ cm}^3$$

$$Deq = \sqrt[3]{\frac{1,206 \cdot 6}{\pi}} = 1,320 \text{ cm}$$

Cálculo da superfície externa da partícula:

$$S_p = 2\pi \left(\frac{Dex}{2} \right) \cdot H + 2\pi \left(\frac{Dex}{2} - espessura \right) \cdot H + \left[\pi \left(\frac{Dex}{2} \right)^2 - \pi \left(\frac{Dex}{2} - espessura \right)^2 \right] \cdot 2$$

$$S_p = 2\pi \left(\frac{1,27}{2} \right) \cdot H + 2\pi \left(\frac{1,27}{2} - 0,3175 \right) \cdot H + \left[\pi \left(\frac{1,27}{2} \right)^2 - \pi \left(\frac{1,27}{2} - 0,3175 \right)^2 \right] \cdot 2$$

$$S_p = 9,5 \text{ cm}^2$$

Esfericidade:

$$\phi = 0,576$$

1.2 MISTURA DE PARTÍCULAS DE DIFERENTES DIMENSÕES E ANÁLISE DE DIMENSÕES

Numa amostra de partículas de D_p uniforme o volume v_p , será

$$v_p = \frac{m}{\rho_p} \quad (2) \quad \begin{array}{l} m = \text{massa da partícula} \\ \rho_p = \text{massa específica} \end{array}$$

Número de partículas

Dada uma massa (m) de partículas, de densidade ρ_p e volume v_p , o número total de partículas (N) será:

$$N = \frac{\text{Massa amostra}}{\text{Massa de uma partícula}} \quad N = \frac{m}{v_p \rho_p} \quad (3)$$

A área superficial total será:

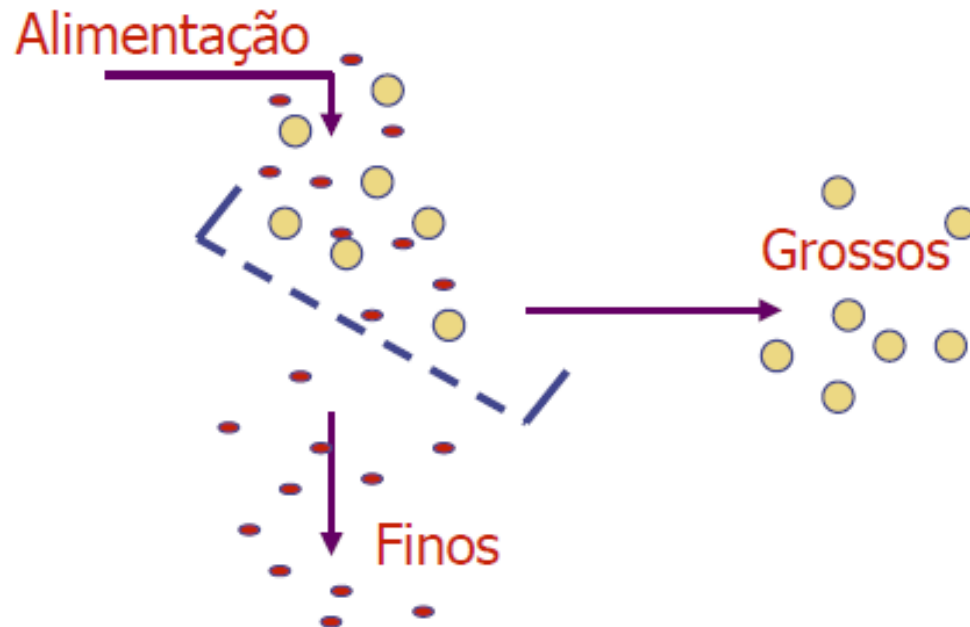
$$A = NS_p = \frac{m}{v_p \rho_p} \times \frac{6v_p}{\Phi_s D_p} = \frac{6m}{\Phi_s D_p \rho_p} \quad (4) \quad \Phi_s = \frac{6v_p}{D_{eq} S_p}$$

No caso de misturas de partículas de **diferentes dimensões e massa específicas**, a mistura é separada em fracções de densidade constante e com dimensões aproximadamente iguais por **crivagem**.

Cada fracção é pesada, ou procede-se à contagem ou medição das partículas individualizadas.

As equações (3) e (4) podem ser aplicadas aos resultados de cada fracção que em seguida são adicionados.

:



Crivagem

A crivagem (peneiração) é uma operação unitária, que consiste na separação de partículas sólidas em fracções de granulometria diferente, por passagem através de peneiros ou crivos.



1-800-321-6188 (USA)
1-800-325-5993 (Canada)

Séries standard de crivos

Gama de dimensões: 76 mm – 38 μ m

Crivos:

- Orifícios quadrados
- Cada crivo é identificado por “malhas por polegada” (mesh per inch)



1-800-321-6188 (USA)
1-800-325-5993 (Canada)

© W.S. TYLER

Série de Tyler:

Padrão \longrightarrow crivo de 200 mesh
 $\Rightarrow 0,074$ mm



A área de cada orifício num peneiro é exactamente o dobro do da abertura do peneiro imediatamente menor, isto é, a razão de dimensão de 1 peneiro é o imediatamente inferior é igual a $\sqrt{2} = 1,41$.

Para dimensões mais próximas há peneiros intermédios em que a razão é igual $\sqrt[4]{2} = 1,189$.

Especificar a gama do incremento

Ex: 14/20 \longrightarrow passa no crivo 14, mas fica retido no 20

Mesh	Abertura livre (mm)	Diâmetro do fio (mm)
3	6,680	1,78
4	4,699	1,65
6	3,327	0,914
8	2,362	0,813
10	1,651	0,899
14	1,168	0,635
20	0,833	0,437
28	0,589	0,318
35	0,417	0,310
48	0,295	0,234
65	0,208	0,183
100	0,147	0,107
150	0,104	0,066
200	0,074	0,053
Panela	< 0,074	< 0,053

Tyler Mesh Size



1-800-321-6188 (USA)
1-800-325-5993 (Canada)

Apresentação dos Resultados da Análise Granulométrica

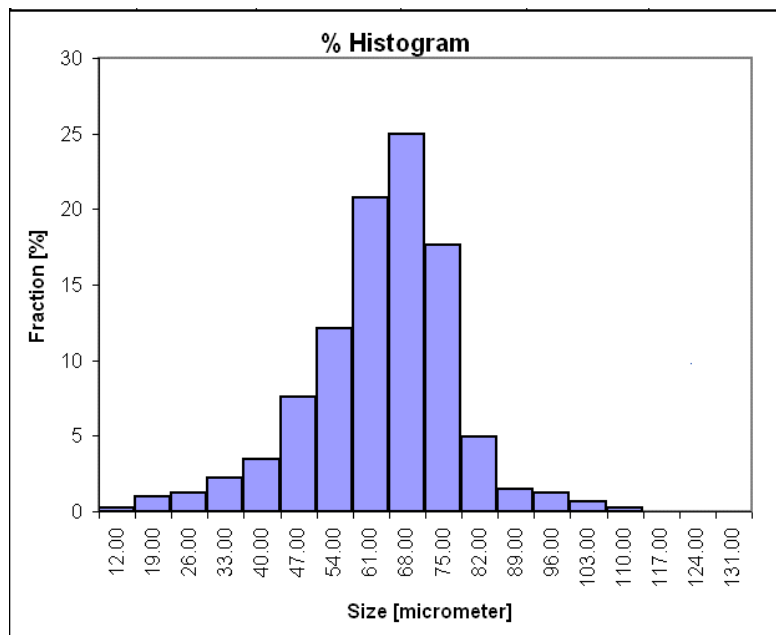
Os resultados da Análise Granulométrica são registrados numa Tabela,

Mesh	Screen Opening, Dpi (mm)	Mass Retained on Screen, (g)	% Mass Retained,
14	1.400	0.000	0.00
16	1.180	9.12	1.86
18	1.000	32.12	6.54
20	0.850	39.82	8.11
30	0.600	235.42	47.95
40	0.425	89.14	18.15
50	0.300	54.42	11.08
70	0.212	22.02	4.48
100	0.150	7.22	1.47
140	0.106	1.22	0.25
Pan	-	0.50	0.11
Total		491.00	100

Apresentação dos Resultados da Análise Granulométrica

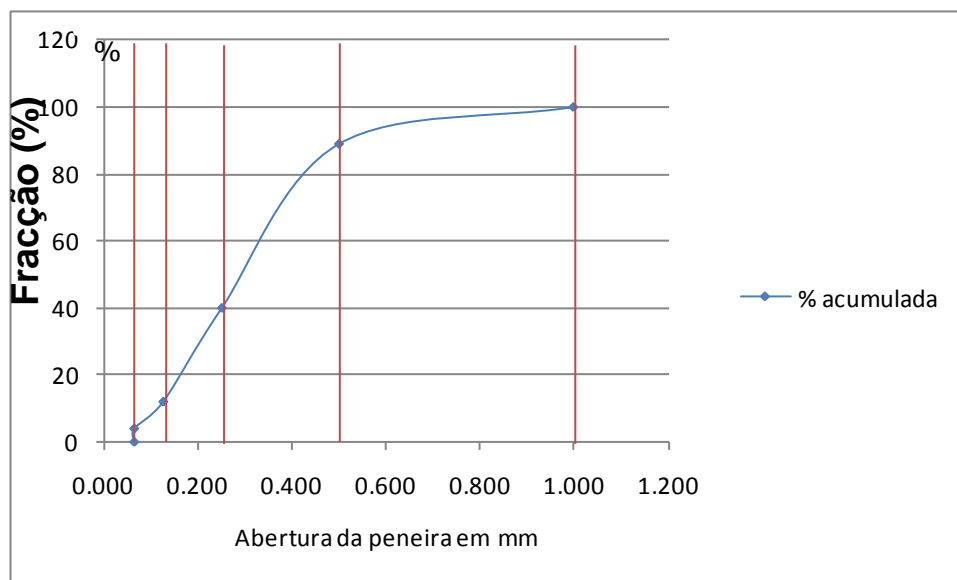
Os resultados da Análise Granulométrica são registrados numa Tabela, e representados graficamente na forma diferencial ou na forma acumulativa dos incrementos, retidos (grossos), ou que passam (finos).

Análise diferencial



Os resultados aparecem como a fracção mássica em função do incremento em termos de variação de mesh dos crivos.

Análise cumulativa



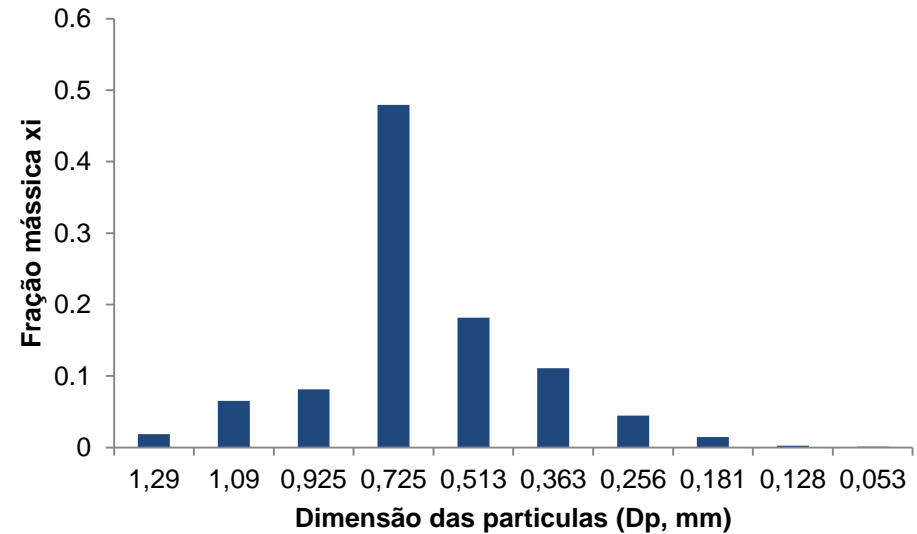
Curva obtida por adição dos incrementos individuais (começa-se pelas partículas menores). Corresponde à fracção mássica da amostra que contem partículas maiores do que D_p . (%)

Análise diferencial

Mesh	Screen Opening, Dpi (mm)	Mass Retained on Screen, (g)	% Mass Retained,	Mesh Range	Ave. Particle Size, D_{pi} (mm)	Mass Fraction Retained, x_i
14	1.400	0.000	0.00			
16	1.180	9.12	1.86	16	1.290	0.0186
18	1.000	32.12	6.54	18	1.090	0.0654
20	0.850	39.82	8.11	20	0.925	0.0811
30	0.600	235.42	47.95	30	0.725	0.4795
40	0.425	89.14	18.15	40	0.513	0.1815
50	0.300	54.42	11.08	50	0.363	0.1108
70	0.212	22.02	4.48	70	0.256	0.0448
100	0.150	7.22	1.47	100	0.181	0.0147
140	0.106	1.22	0.25	140	0.128	0.0025
Pan	-	0.50	0.11	pan	0.053	0.0011
Total		491.00	100			

Análise diferencial

Mesh Range	Ave. Particle Size, (mm) \bar{D}_{pi}	Mass Fraction Retained, x_i
16	1.290	0.0186
18	1.090	0.0654
20	0.925	0.0811
30	0.725	0.4795
40	0.513	0.1815
50	0.363	0.1108
70	0.256	0.0448
100	0.181	0.0147
140	0.128	0.0025
pan	0.053	0.0011

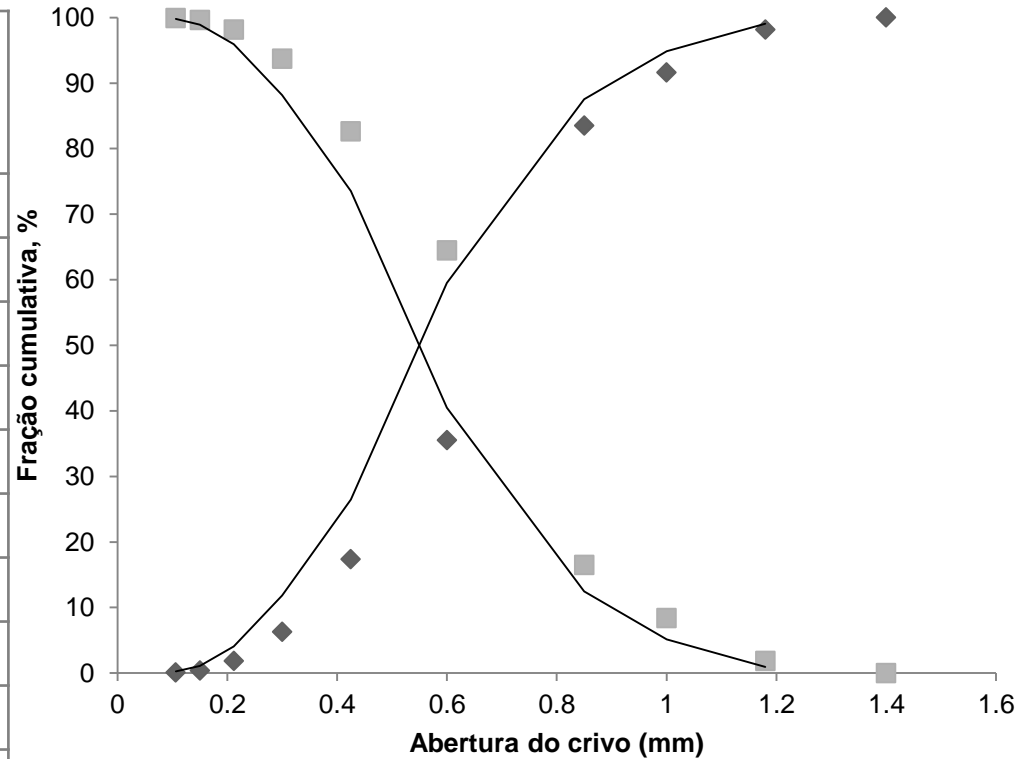


Análise cumulativa

Mesh	Screen Opening, Dpi (mm)	Mass Retained on Screen, (g)	% Mass Retained	Mesh	Screen Opening, Dpi (mm)	Cumulative wt% undersize	Cumulative wt% oversize
14	1.400	0.000	0.00	14	1.400	100	0.00
16	1.180	9.12	1.86	16	1.180	98.14	1.86
18	1.000	32.12	6.54	18	1.000	91.60	8.40
20	0.850	39.82	8.11	20	0.850	83.49	16.51
30	0.600	235.42	47.95	30	0.600	35.54	64.46
40	0.425	89.14	18.15	40	0.425	17.39	82.61
50	0.300	54.42	11.08	50	0.300	6.31	93.69
70	0.212	22.02	4.48	70	0.212	1.83	98.17
100	0.150	7.22	1.47	100	0.150	0.36	99.64
140	0.106	1.22	0.25	140	0.106	0.11	99.89
Pan	-	0.50	0.11				
Total		491.00	100				

Análise cumulativa

Mesh	Screen Opening, Dpi (mm)	Cumulative wt% undersize	Cumulative wt% oversize
14	1.400	100	0.00
16	1.180	98.14	1.86
18	1.000	91.60	8.40
20	0.850	83.49	16.51
30	0.600	35.54	64.46
40	0.425	17.39	82.61
50	0.300	6.31	93.69
70	0.212	1.83	98.17
100	0.150	0.36	99.64
140	0.106	0.11	99.89

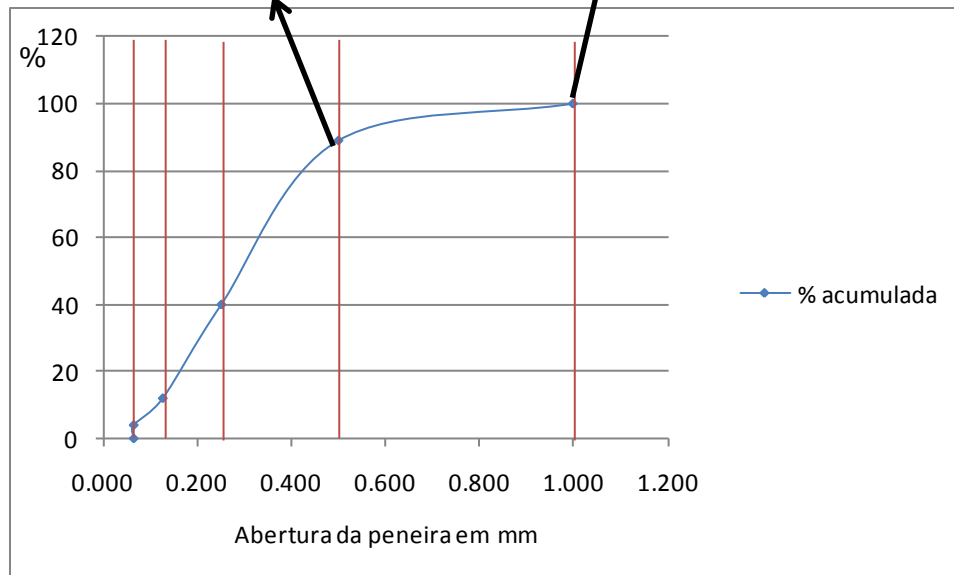


Exemplo:

Abertura da malha do crivo em mm	% massa retida	% massa acumulada nos crivos inferiores
1.000	0	100
0.500	11	89
0.250	49	40
0.125	28	12
0.063	8	4
0.063 (colector)	4	0

89% do material passou pelo crivo de 0,5mm

100% do material passou pelo crivo de 1,0mm



Curva obtida por adição dos incrementos individuais (começa-se pelas partículas menores)

1.3 Análise de mistura de partículas de diferentes dimensões

1) *Superfície específica de uma mistura* (A_w)

Considerando Φ_s e ρ_p constantes

$$A_w = \frac{6x_1}{\Phi_s \rho_p \bar{D}_{p1}} + \frac{6x_2}{\Phi_s \rho_p \bar{D}_{p2}} + \dots + \frac{6x_n}{\Phi_s \rho_p \bar{D}_{pn}} \quad (5)$$

$$A_w = \frac{6}{\Phi_s \rho_p} \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{\bar{D}_{pi}} \quad (6)$$

onde

n – nº de incrementos;

x_i = fração mássica num dado incremento;

\bar{D}_{pi} = Diâmetro médio da partícula (a \equiv média aritmética da < e da > partícula no incremento)

2) *Dimensão média das partículas de uma mistura*

Várias definições:

$$A = NS_p = \frac{6m}{\Phi_s D_p \rho_p}$$

1) através do diâmetro médio volume-superfície (\bar{D}_s)

Diâmetro de Sauter

$$\bar{D}_s = \frac{6}{\Phi_s A_W \rho_p} \quad (7)$$

É talvez a definição mais utilizada e está relacionada com a área específica

Substituindo A_W na expressão temos:

$$\bar{D}_s = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{\bar{D}_{pi}} \right)} \quad (8)$$

2) através da média aritmética

$$\bar{D}_N = \frac{\sum_{i=1}^n (N_i \bar{D}_{pi})}{\sum_{i=1}^n N_i} = \frac{\sum_{i=1}^n (N_i \bar{D}_{pi})}{N_T} \quad (9)$$

N_T = número total de partículas na amostra

3) através do diâmetro mássico (\bar{D}_W)

$$\bar{D}_W = \sum_{i=1}^n x_i \bar{D}_{pi} \quad (10)$$

4) Diâmetro volumétrico médio (\bar{D}_V)

$$\bar{D}_V = \left[\frac{1}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{\bar{D}_{pi}^3} \right)} \right]^{1/3} \quad (11)$$

3) **Número de partículas da mistura (N_w)**

A partir do nº de partículas de cada fracção $\Rightarrow N_w = \sum_{i=1}^n N_i$

\forall forma da partícula, verifica-se que: $v_p = aD_p^3$ (12)

a = factor forma do volume, independente do tamanho da partícula

($a = 0.5236$ esfera, 0.785 cilindro pequeno ($H=D$), 1.0 cubo)

e a partir da equação $N = \frac{m}{v_p \rho_p}$ e a equação (12)

o número de partículas da mistura será:

$$N_w = \frac{1}{a\rho_p} \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{D_{pi}^3} \quad (13)$$

(partículas/g)

Problema 1:

1. Calcule o diâmetro médio superficial das partículas nas frações 8/10, 10/14, 14/20, 20/28, 28/35 e 35/48 do material cuja análise granulométrica está apresentada a seguir.

Quadro 1. Análise granulométrica diferencial de aveia

Malhas	x_i	D_i (mm)
4	0	4,699
6	0,0251	3,327
8	0,1250	2,362
10	0,3207	1,651
14	0,2570	1,168
20	0,1590	0,833
28	0,0538	0,589
35	0,0210	0,417
48	0,0102	0,295
65	0,0077	0,208
100	0,0058	0,147
150	0,0041	0,104
200	0,0031	0,074
-200	0,0075	< 0,074

$$\bar{D}_s = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{D_{pi}} \right)}$$

Quadro 2. Valores a utilizar nos cálculos

Malhas	x_i	\bar{D}_i (mm)
8/10	0,3207	$(2,362+1,651)/2 = 2,007$
10/14	0,2570	1,410
14/20	0,1590	1,001
20/28	0,0538	0,711
28/35	0,0210	0,503
35/48	0,0102	0,356

$$\bar{D}_s = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{\bar{D}_{pi}}}$$

$$\bar{D}_s = \frac{1}{\left(\frac{0,3207}{2,007} + \frac{0,2570}{1,410} + \frac{0,1590}{1,001} + \frac{0,0538}{0,711} + \frac{0,0210}{0,503} + \frac{0,0102}{0,356} \right)}$$

$$\bar{D}_s = 1,54 \text{ mm}$$

Problema 2:

Quadro 3. Resultados de uma amostra

Mesh	Abertura do crivo Dpi (mm)	Massa retida (g)
4	4,699	0
6	3,327	12,55
8	2,362	62,50
10	1,651	160,35
14	1,168	128,50
20	0,833	79,50
28	0,589	26,90
35	0,417	10,50
48	0,295	5,10
65	0,208	3,85
100	0,147	2,90
150	0,104	2,05
200	0,074	1,55
colector	-	3,75

1) Fazer o histograma relativa à análise diferencial directa para a gama de dimensões dos incrementos.

2) Representar graficamente a análise cumulativa das dimensões das partículas presentes dos seguintes modos :

(a) Fracção cumulativa em função do D_p

(b) Fracção cumulativa em função do $\log D_p$

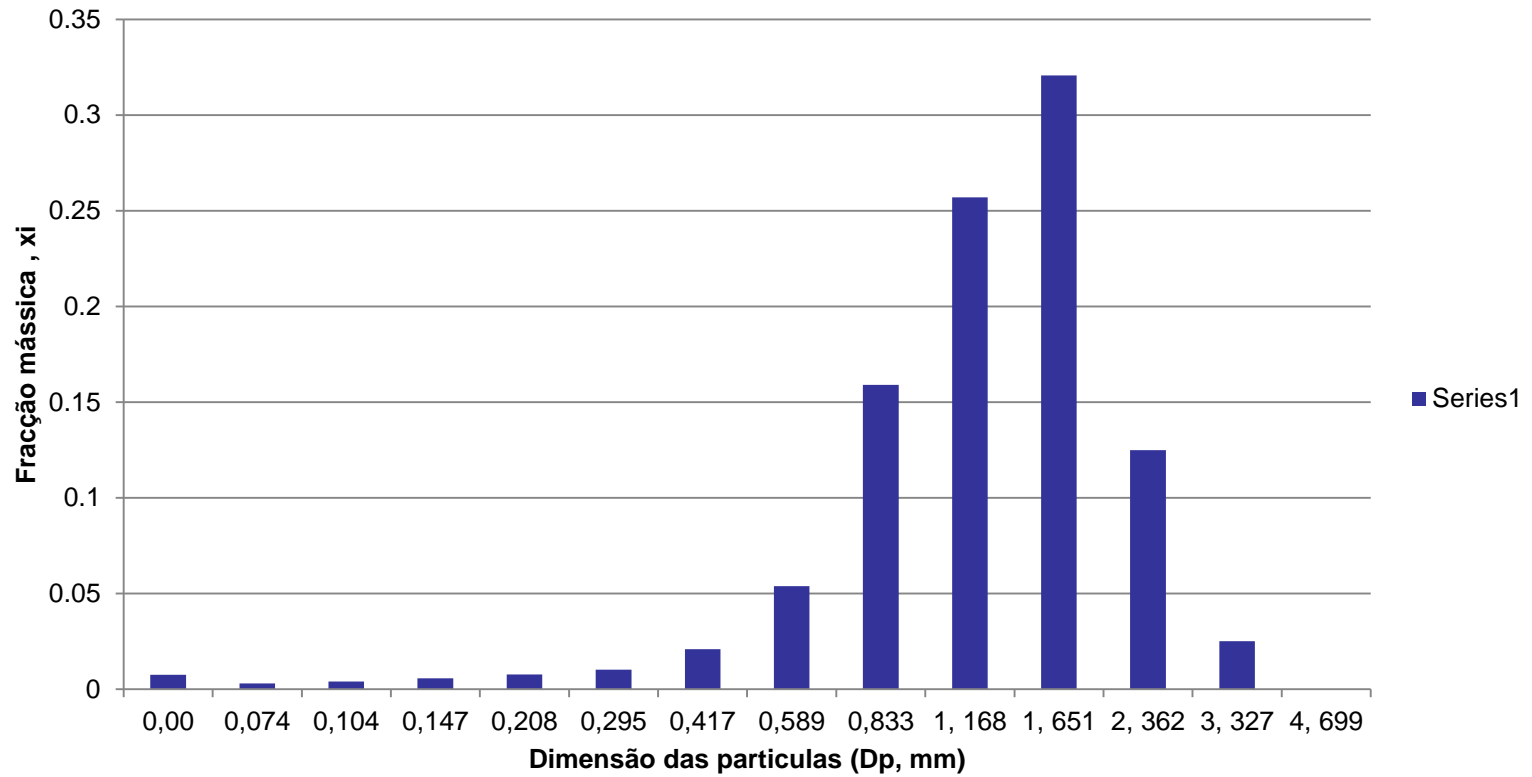
Problema 2:

Quadro 3. Resultados de uma amostra

Mesh	Abertura do crivo Dpi (mm)	Massa retida (g)	Fracção mássica retida (xi)	Fracção cumulativa <Dpi
4	4,699	0	0	1,000
6	3,327	12,55	0,0251	0,9749
8	2,362	62,50	0,125	0,8499
10	1,651	160,35	0,3207	0,5292
14	1,168	128,50	0,2570	0,2722
20	0,833	79,50	0,1590	0,1132
28	0,589	26,90	0,0538	0,0594
35	0,417	10,50	0,0210	0,0384
48	0,295	5,10	0,0102	0,0282
65	0,208	3,85	0,0077	0,0205
100	0,147	2,90	0,0058	0,0147
150	0,104	2,05	0,0041	0,0106
200	0,074	1,55	0,0031	0,0075
colector	-	3,75	0,0075	0,0000

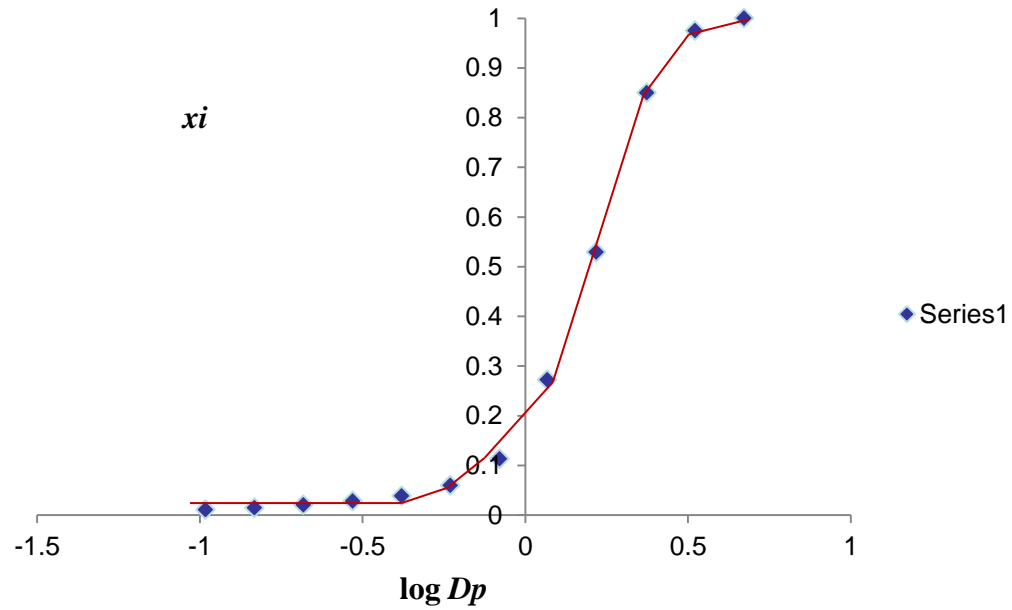
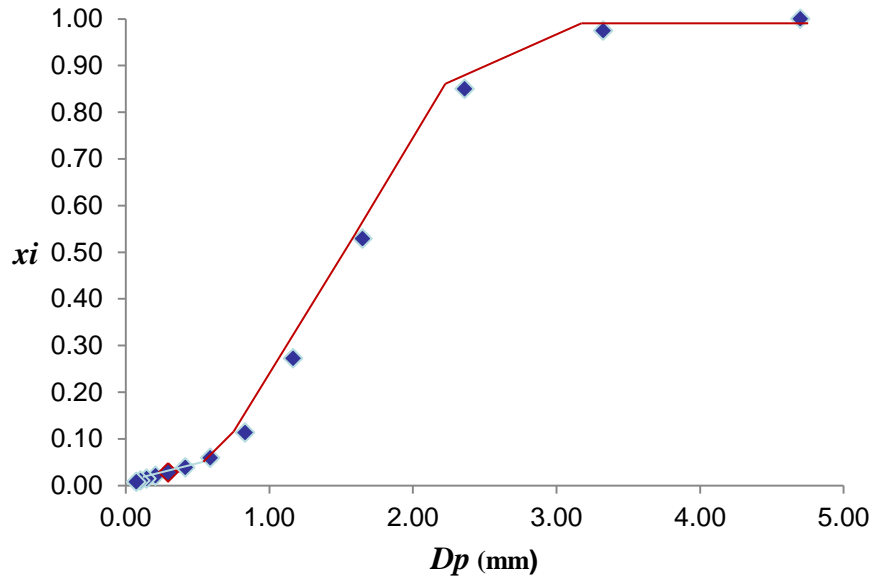
Análise diferencial

Representação directa dos dados do quadro



Quadro 4: Cálculos para traçado dos gráficos

Abertura do crivo Dpi (mm)	Log D	Σx_i
4,699	0,672	1,00
3,327	0,522	0,9749
2,362	0,3733	0,8499
1,651	0,2177	0,5292
1,168	0,0674	0,2722
0,833	-0,0793	0,1132
0,589	-0,2299	0,0594
0,417	-0,3799	0,0384
0,295	-0,5302	0,0282
0,208	-0,6819	0,0205
0,147	-0,8327	0,0147
0,104	-0,9830	0,0106
0,074	-1,1308	0,0075



Problema 3:

A partir dos dados referidos no problema 2, calcular, para o material entre 4 e 20 mesh, os seguintes parâmetros:

- a) a superfície específica da mistura em mm^2/g , e o nº de partículas por grama.
- b) diâmetro volumétrico médio $\overline{D_v}$;
- c) diâmetro médio volume-superfície $\overline{D_s}$;
- d) diâmetro mássico $\overline{D_w}$;
- e) N_i para o incremento 10/14
- f) qual a fracção do nº total de partículas presente no incremento 10/14?

Considere: **massa volúmica** = 2650 kg/m^3 ; $\alpha = 0.8$; $\Phi_s = 0,571$

$$\rho_p = 2650 \text{ kg/m}^3 = 0,002650 \text{ g/mm}^3$$

Quadro 5: Valores e cálculos auxiliares.

Mesh	Abertura do crivo Dpi (mm)	Massa retida (g)	Fracção mássica retida (x_i)	Diâmetro médio ($\overline{D_{pi}}$, mm) da partícula retida
4	4,699	0	0	
6	3,327	12,55	0,0251	$(4,699+3,327)/2 = 4,013$
8	2,362	62,50	0,125	2,845
10	1,651	160,35	0,3207	2,007
14	1,168	128,50	0,2570	1,409
20	0,833	79,50	0,1590	1,001

$$\rho_p = 2650 \text{ kg/m}^3 = 0,002650\text{g/mm}^3$$

Quadro 6: Cálculos auxiliares.

Incremento	$x_i/\overline{D_{pi}}$	$x_i/(\overline{D_{pi}})^3$
4/6	0,063	0,0004
6/8	0,0439	0,0054
8/10	0,1598	0,0397
10/14	0,1824	0,0919
14/20	0,1588	0,1585
Σ	$\Sigma=0,5512$	$\Sigma=0,2959$

a) A superfície específica da mistura em mm^2/g , e o nº de partículas por grama

$$A_W = \frac{6}{\Phi_s \rho_p} \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{\overline{D}_{pi}} \quad A_W = 3965 \times 0,5512 = 2185,5 \text{ mm}^2/\text{g}$$

$$N_W = \frac{1}{a \rho_p} \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{\overline{D}_{pi}^3} \quad N_W = 139,5 \text{ partículas /g} \approx 140 \text{ part/g}$$

a) \bar{D}_v ;

b) \bar{D}_s ;

c) \bar{D}_w ;

$$\bar{D}_v = \left[\frac{1}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{\bar{D}_{pi}^3} \right)} \right]^{1/3} = \left(\frac{1}{0,2959} \right)^{1/3} = 1,5mm$$

$$\bar{D}_s = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{\bar{D}_{pi}} \right)} = \frac{1}{0,5512} = 1,81mm$$

$$\bar{D}_w = \sum_{i=1}^n x_i \bar{D}_{pi} = 0,1007 + 0,3556 + 0,6436 + 0,3621 + 0,1591 = 1,62mm$$

a) Ni para o incremento 10/14

f) Qual a fracção do nº total de partículas presente no incremento 10/14?

$$N_{10/14} = \frac{0.257}{0.8 \times 2.65 \times 10^{-3} \times 1.409^3} = 43.3$$

$$\frac{N_{10/14}}{N_w} = \frac{43.3}{139.5} = 0.31$$

31 % das partículas retidas, com dimensões superiores a 1,168 mm, têm dimensão média de 1,409 mm e ficaram retidas no crivo 14 e passaram no crivo 10