

### 3 - MATERIAL PARTICULADO

---

As partículas microscópicas que flutuam no ar (ou nos gases) provenientes de diversas fontes podem afetar o ambiente, a nossa saúde e bem-estar. Partículas sólidas ou líquidas em suspensão em um gás são chamadas de aerossol. Aerossóis são sistemas bifásicos, ou seja, compreendem as partículas e o gás no qual elas estão suspensas.

Partículas líquidas suspensas em um gás recebem o nome de neblina, névoa ou "spray". Para partículas sólidas: fumo (partículas de fontes caloríficas intensas), poeira, pó. As denominações dependem do tamanho das partículas.

#### Quais propriedades das partículas são importantes?

Além da sua composição química, o comportamento dos materiais particulados em suspensão é muitas vezes dominado pelas propriedades físicas das partículas constituintes. Por exemplo: as taxas de reação e de dissolução, facilidade de escoamento e de mistura, compressibilidade e abrasividade. Algumas das propriedades físicas das partículas: tamanho, forma, resistência mecânica, porosidade, etc.

Dependendo do interesse, algumas propriedades podem ser mais importantes que outras. O tamanho das partículas é um parâmetro muito importante para caracterização do comportamento do aerossol. O tamanho é expresso, geralmente, pelo diâmetro da partícula, expresso em micrometro ( $1 \mu\text{m} = 1 \times 10^{-6} \text{ m}$ ). Veja as figuras a seguir.

É importante destacar que partículas consideradas respiráveis têm diâmetros menores que  $10 \mu\text{m}$ , penetram nos pulmões e são difíceis para coleta em equipamentos de controle.

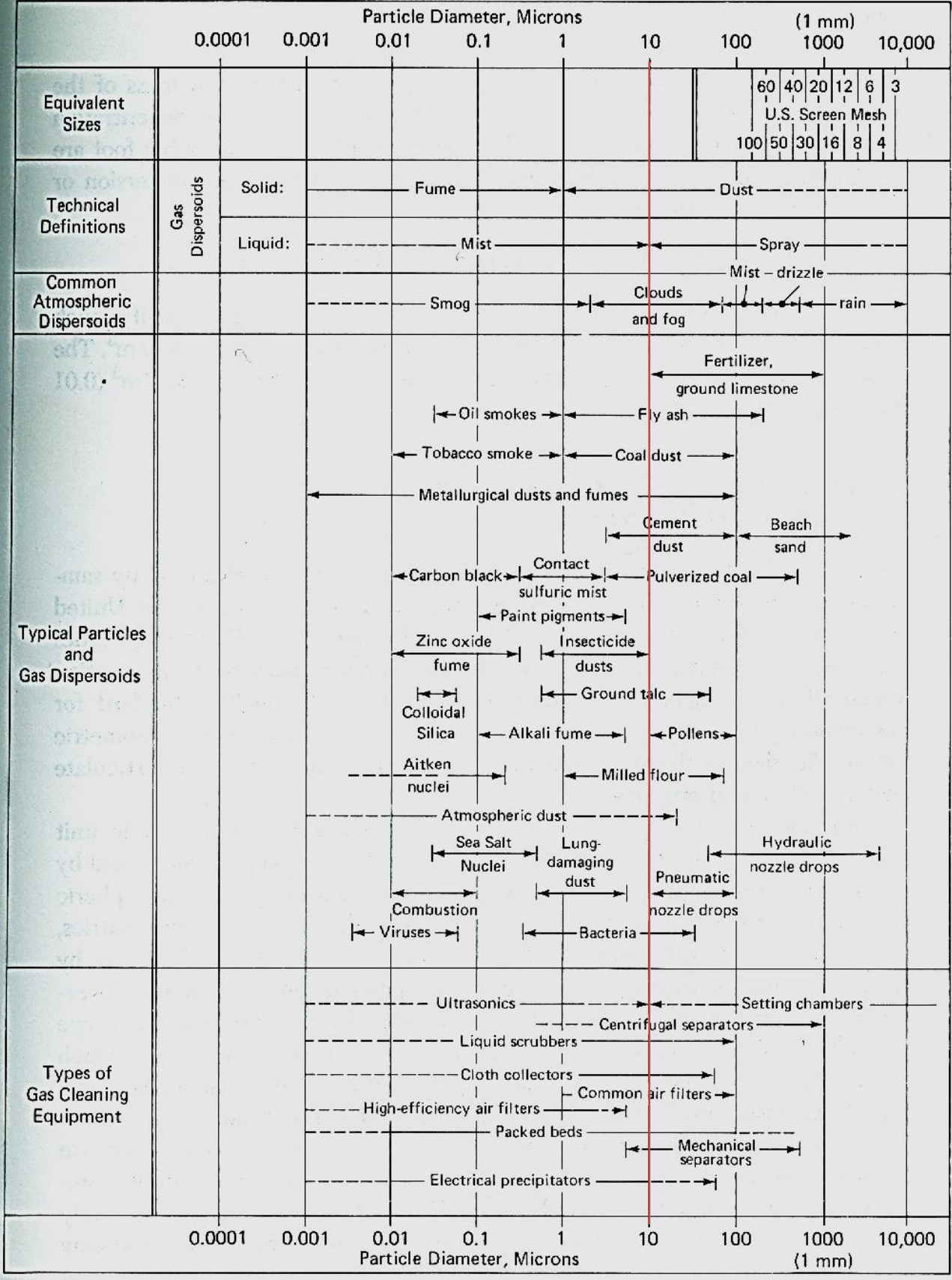
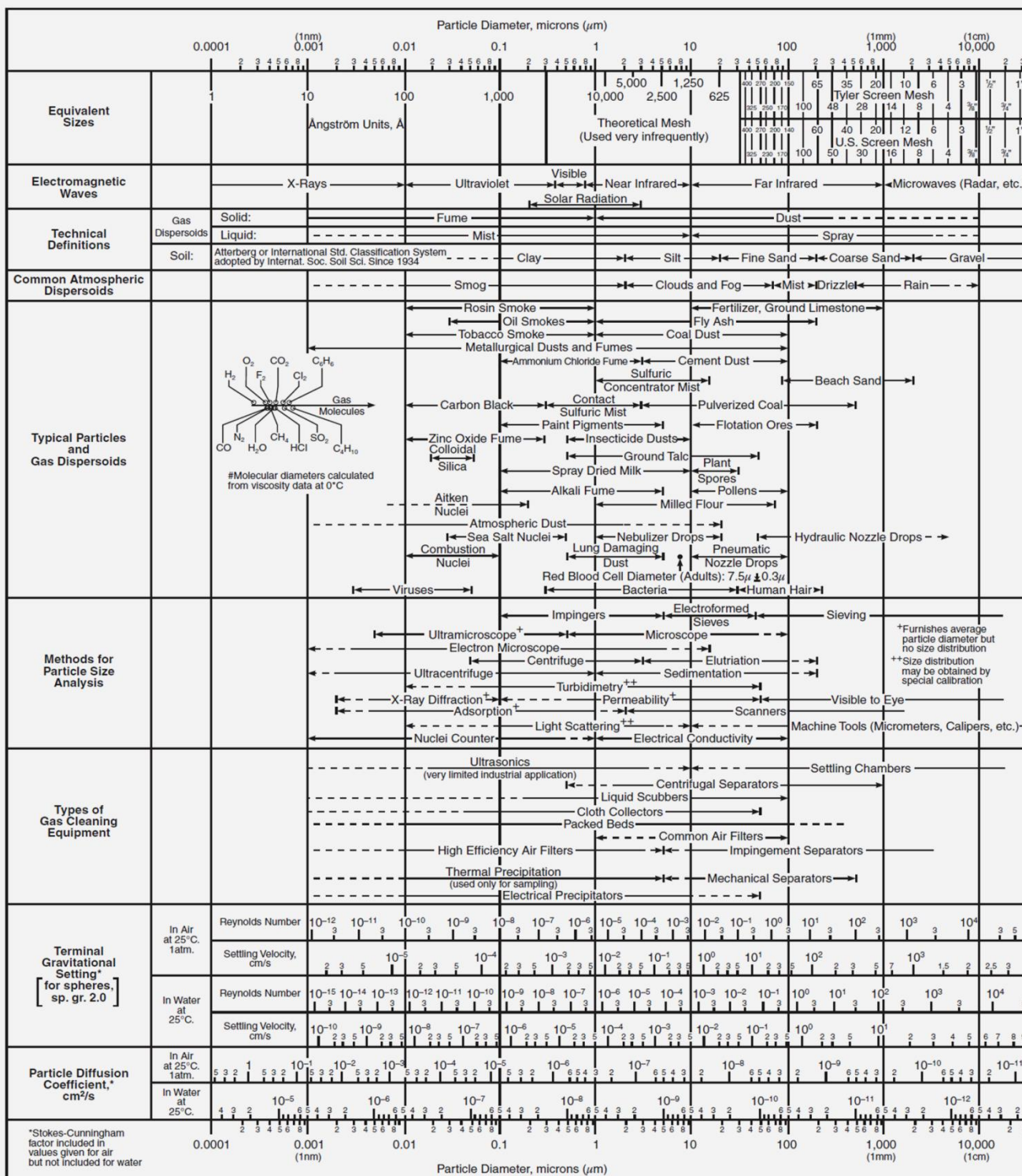


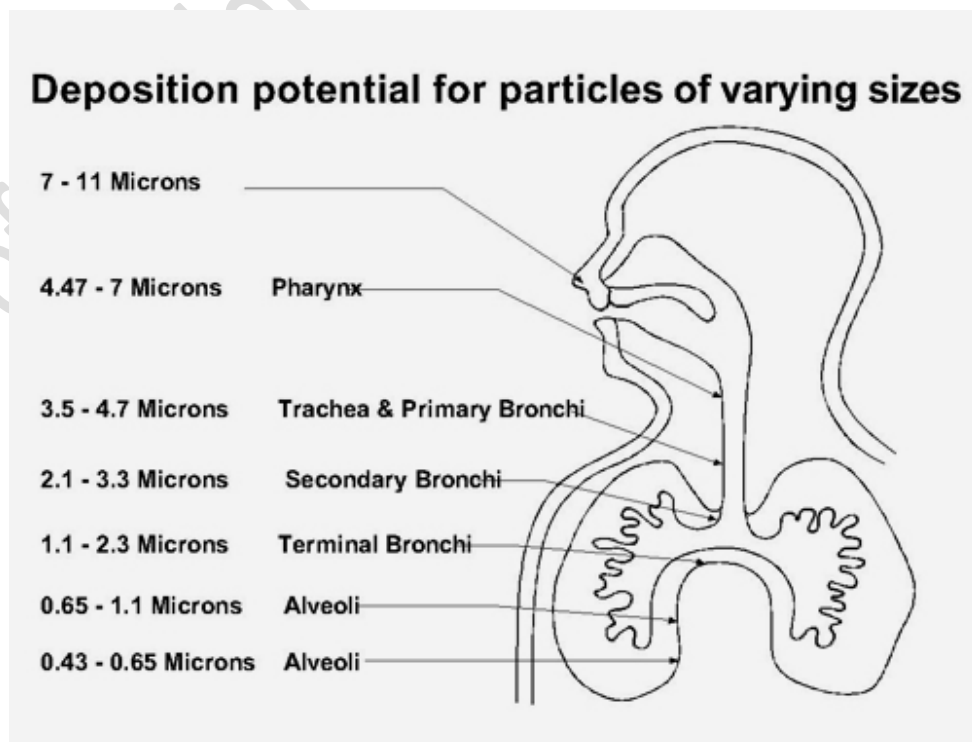
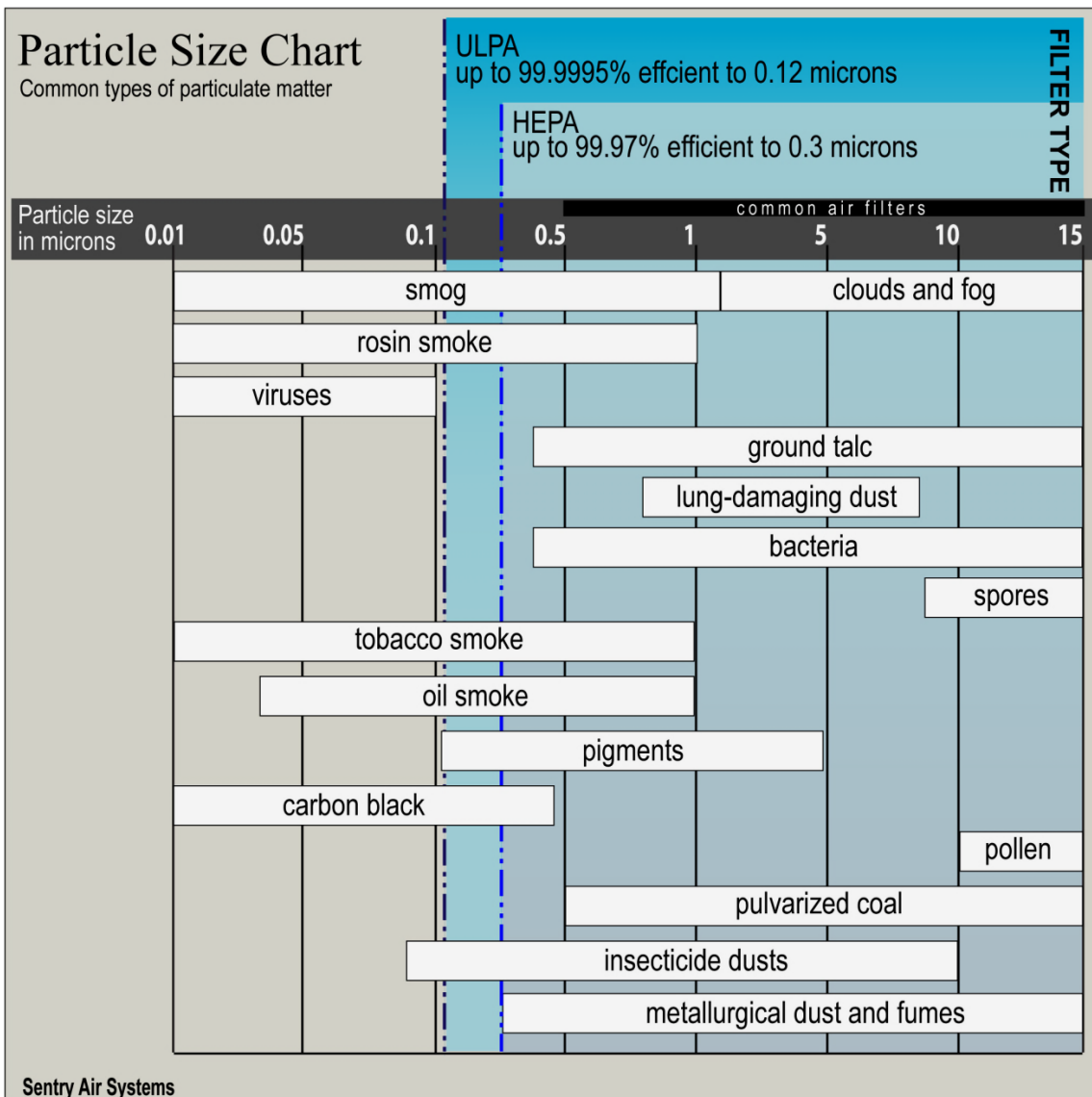
Figure 5-1 Characteristics of particles and particle dispersoids. (SOURCE: C. E. Lapple. *Stanford Research Institute Journal* 5, 1961.)

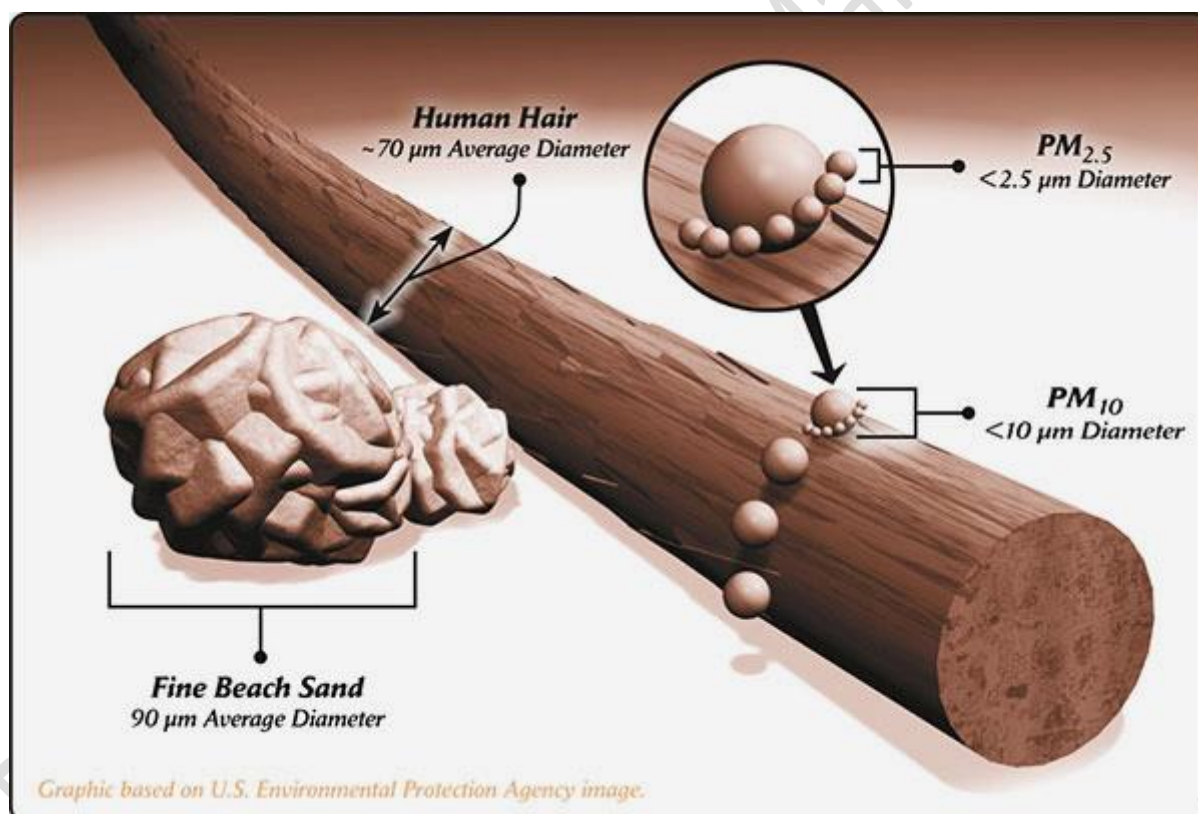
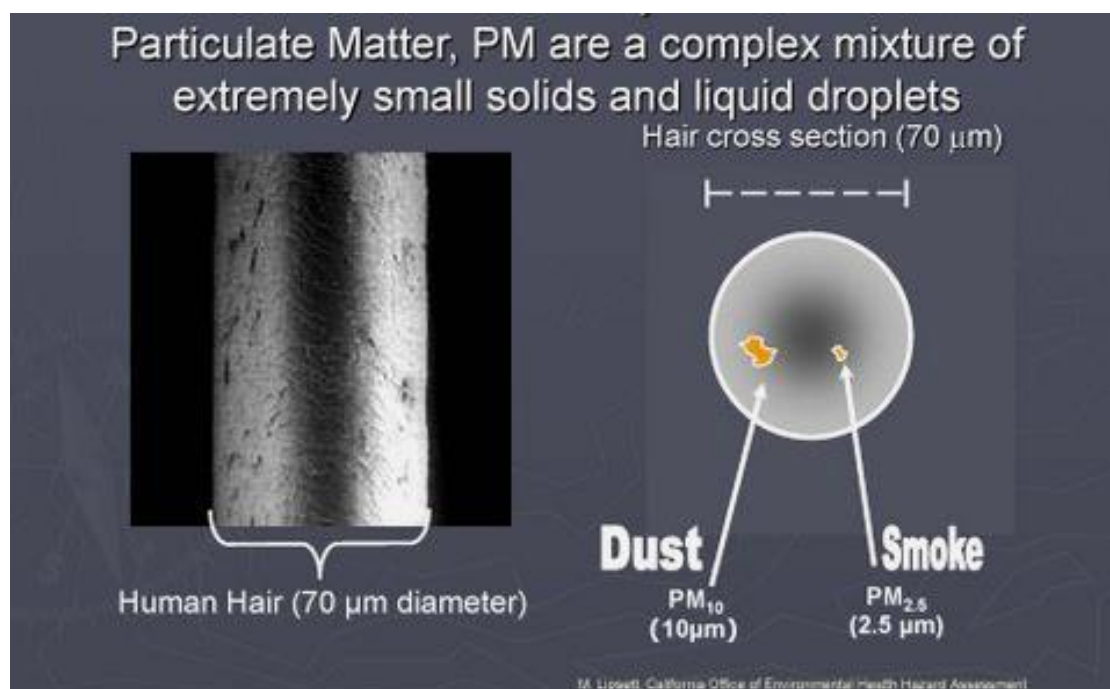
## CHARACTERISTICS OF PARTICLES AND PARTICLE DISPERSOIDS



C.E. Lapple, Stanford Research Institute Journal, Vol. 5, p.95 (Third Quarter, 1961)



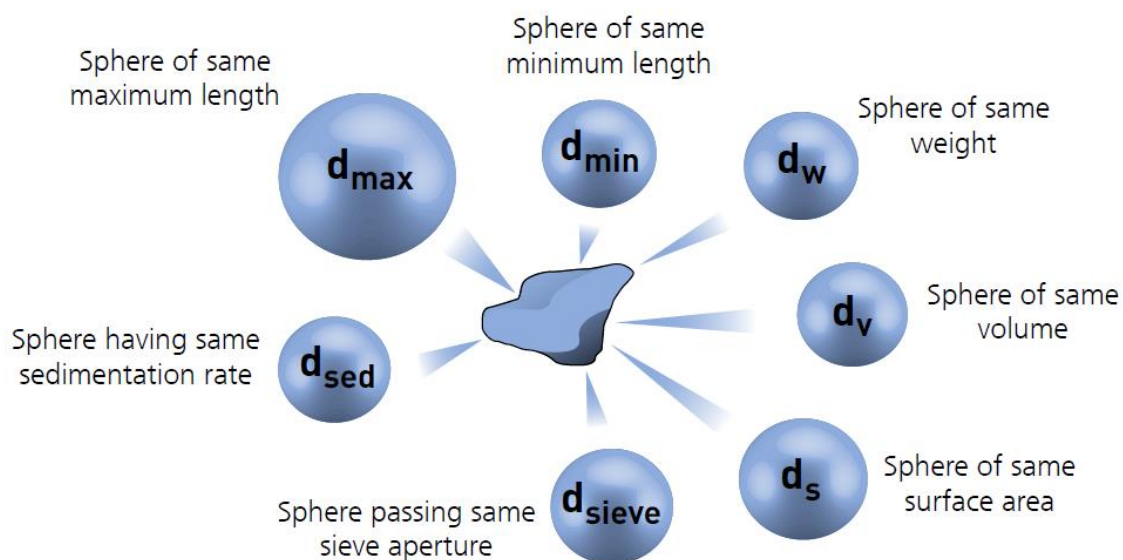




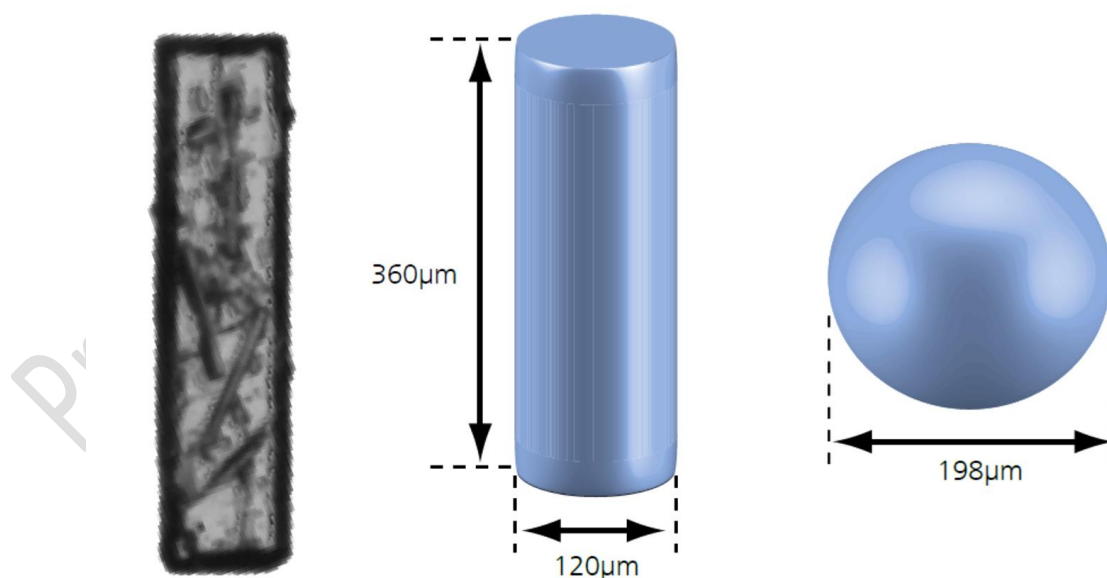
### 3.1 – Caracterização de um Conjunto de Partículas

Um conjunto de partículas é, normalmente, caracterizado a partir da identificação de uma dimensão característica associada à partícula individual, usualmente, o seu diâmetro.

Para partículas esféricas (ou quase esféricas) o diâmetro é evidente. Contudo para partículas não esféricas é necessário especificar-se um critério para escolha da dimensão característica, normalmente associada a uma propriedade de uma esfera.



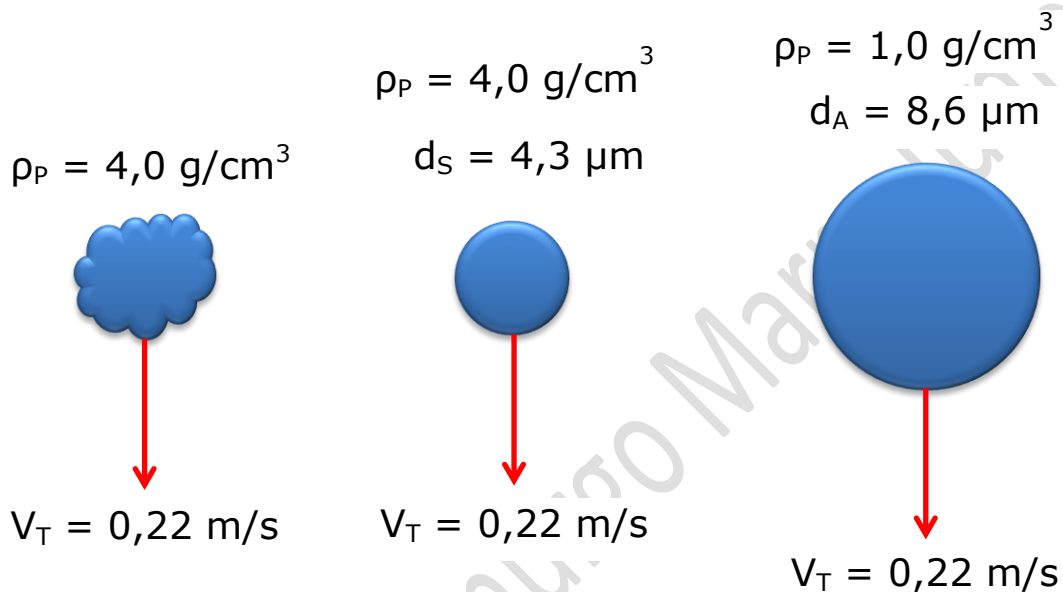
Por exemplo, uma partícula em forma de cilindro foi “transformada” em uma esfera equivalente de mesmo volume. Será está a melhor “transformação”?



No caso de coleta de aerossóis, duas definições importantes:

Diâmetro de Stokes ( $d_S$ ): é o diâmetro de uma esfera equivalente de mesma densidade que a partícula e com mesma velocidade terminal ( $Re_p < 2$ ).

Diâmetro Aerodinâmico ( $d_A$ ): é o diâmetro de uma esfera equivalente de densidade unitária ( $\rho_p = 1 \text{ g/cm}^3$ ) que tenha a mesma velocidade terminal da partícula.



O diâmetro aerodinâmico e o diâmetro de Stokes são definidos em função do comportamento aerodinâmico das partículas. O  $d_A$  é a principal propriedade da partícula do ponto de vista da filtração, deposição respiratória e no desempenho de vários tipos de equipamentos de limpeza de gases.

$$d_A = d_S \left( \frac{\rho_p}{\rho_0} \right)^{0,5}$$

$$\rho_0 = 1 \text{ g/cm}^3$$

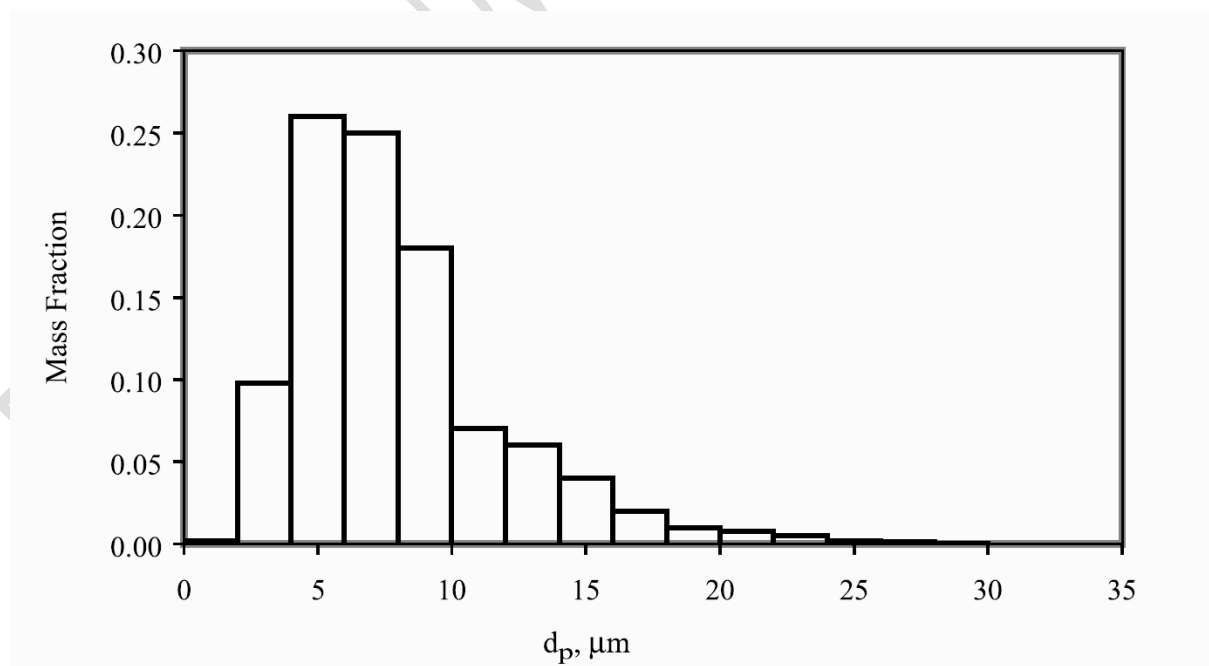
### 3.2 – Distribuição Granulométrica

Um conjunto de partículas, usualmente, exibe uma distribuição de tamanhos. A caracterização do conjunto é feita, normalmente, agrupando-se as partículas em faixas de tamanho de modo a “criar” uma distribuição granulométrica.

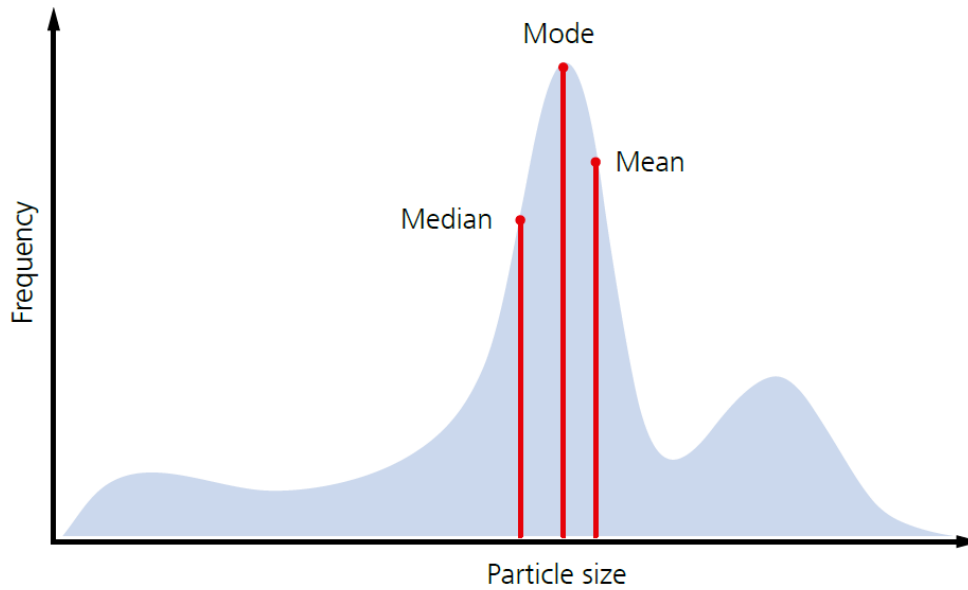
A distribuição granulométrica é quase sempre apresentada em termos de porcentagem com diâmetro menor que (ou maior que), a chamada função de distribuição, expressa em termos da massa ou número das partículas.

$d_p$ ( $\mu\text{m}$ )	Número	Fração Numérica	Massa da Partícula	Massa Total	Fração Mássica
1	100.000	0,99	1	$1,0 \times 10^5$	0,009
10	1.000	0,0099	1.000	$1,0 \times 10^6$	0,090
100	10	0,000099	1.000.000	$1,0 \times 10^7$	0,900
Total =	101.010	1,00		$1,11 \times 10^7$	1,000

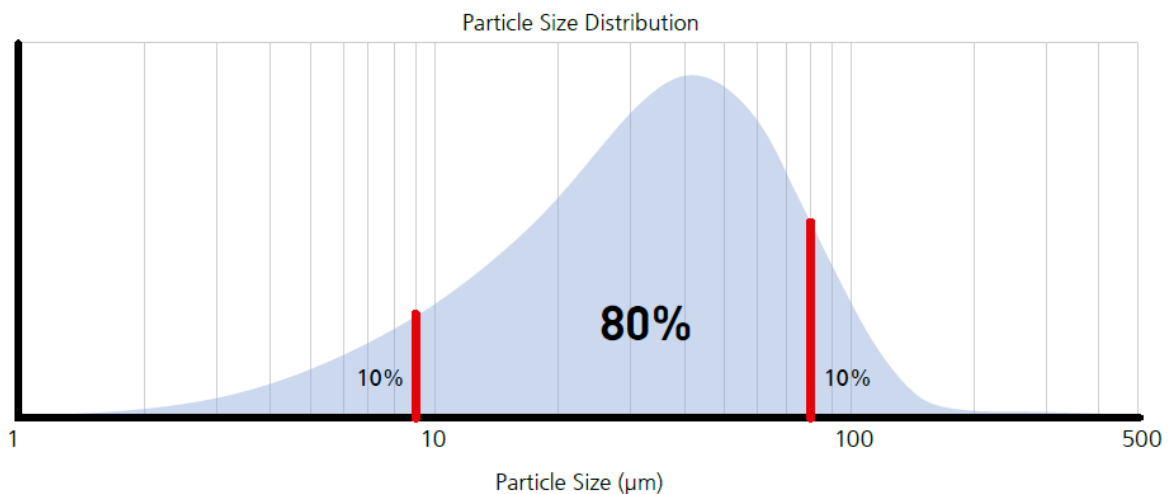
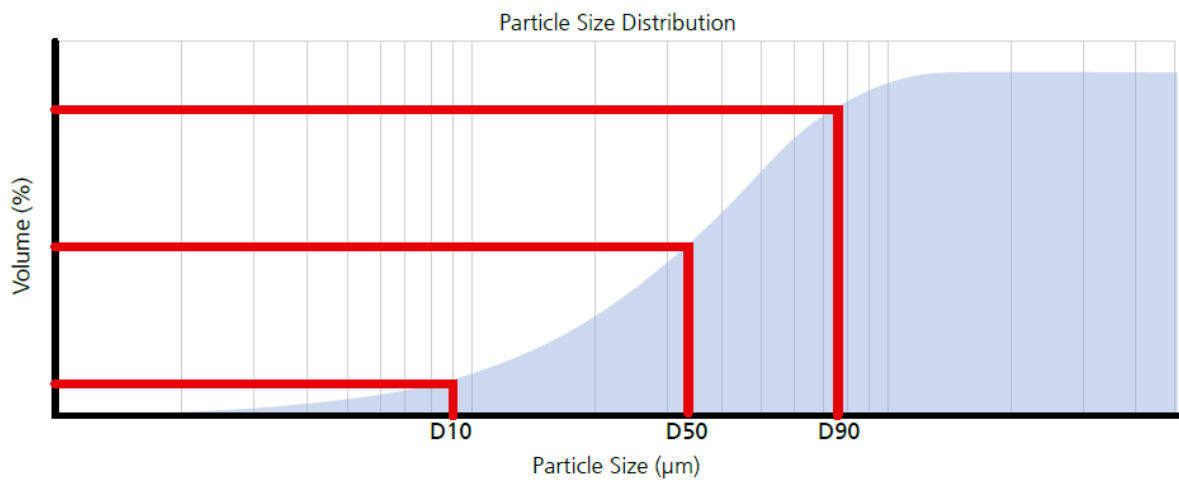
Faixa de Diâmetros ( $\mu\text{m}$ )	Diâmetro Médio ( $\mu\text{m}$ )	Fração Mássica	Fração Acumulada (%)
0 - 2	1,0	0,005	0,5
2 - 5	3,5	0,195	20,0
5 - 9	7,0	0,400	60,0
9 - 15	12,0	0,300	90,0
15 - 25	20,0	0,080	98,0
25 - 50	37,5	0,020	100,0







- mean – ‘average’ size of a population
- median – size where 50% of the population is below/above
- mode – size with highest frequency.



### 3.3 – Correção da Força de Arraste

Para partículas muito pequenas ( $d_p < 5 \mu\text{m}$ ) a força de arraste deve ser corrigida por um fator de correção: fator de escorregamento de Cunningham,  $C_S$ . Quando o tamanho da partícula se aproxima do livre caminho médio percorrido pelas moléculas do gás, uma partícula que se move no gás tende a “escorregar” entre as moléculas do gás com menos resistência.

O fator de escorregamento de Cunningham é sempre maior que 1 (um) e reduz a força de arraste ( $F_d$ ):

$$F_d = \frac{3\pi\mu V_T d_p}{C_S}$$

$\mu$  = viscosidade do gás (kg/m.s);

$V_T$  = velocidade terminal da partícula (m/s)

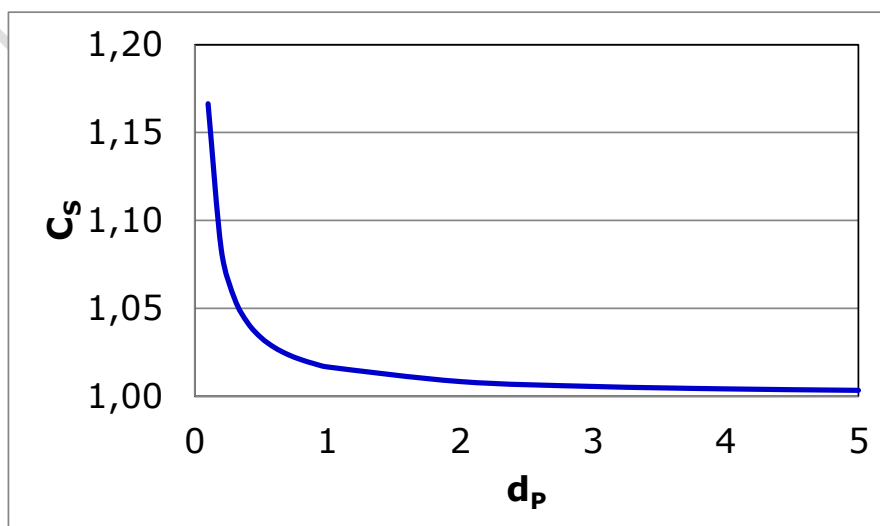
$d_p$  = diâmetro da partícula (m)

Para a estimativa de  $C_S$  podemos usar:

$$C_S = 1 + \frac{2}{Pd_p} [6,32 + 2,01 \text{EXP}(-0,1095Pd_p)]$$

$P$  = pressão (cmHg);

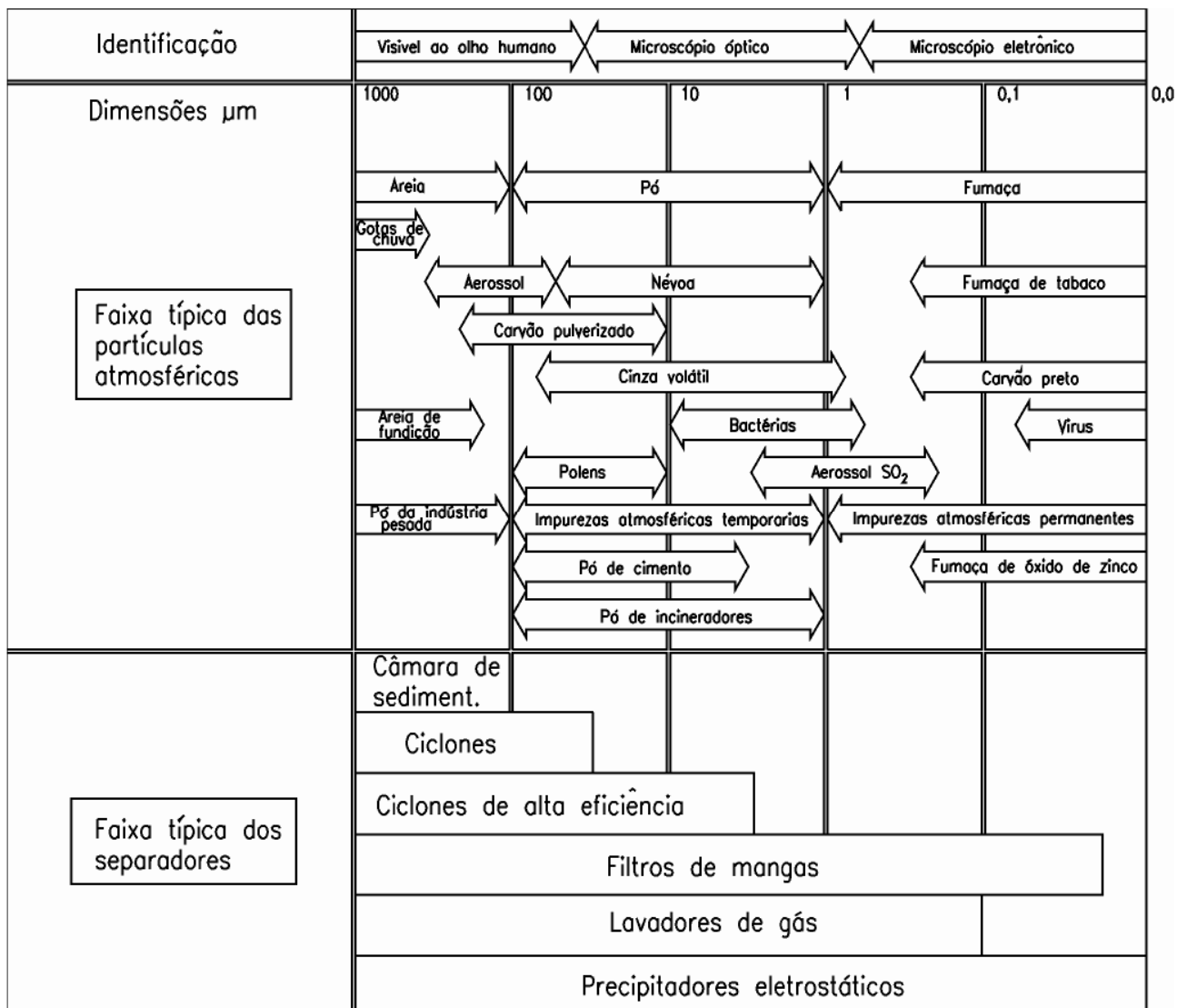
$d_p$  = diâmetro da partícula ( $\mu\text{m}$ ).



Velocidade terminal da partícula:

$$V_T = \frac{1}{18} \frac{d_p^2 g (\rho_p - \rho_f)}{\mu_f}$$

$d_p$  = diâmetro da partícula;  
 $\rho_p$  = densidade da partícula;  
 $\rho_f$  = densidade do gás;  
 $\mu_f$  = viscosidade do gás.



**Figura 5.1- Relação entre separadores de partículas e dimensões das mesmas (Cortesia da firma Lodge Sturtevant Ltda).**