

7– PARTÍCULAS SÓLIDAS

O CONHECIMENTO DAS PROPRIEDADES DAS PARTÍCULAS SÓLIDAS É FUNDAMENTAL PARA AS OPERAÇÕES LISTADAS ABAIXO:

FRAGMENTAÇÃO

PENEIRAMENTO

FLUIDIZAÇÃO

MISTURA

ARMAZENAMENTO

SEPARAÇÕES MECÂNICAS

ESCOAMENTO DE FLUIDOS ATRAVÉS DE FILTROS

ADSORÇÃO

AS ALUDIDAS PROPRIEDADES SE DIVIDEM EM DUAS CLASSES:

A) AS QUE SÓ DEPENDEM DA NATUREZA DAS PARTÍCULAS:

FORMA

DUREZA

MASSA ESPECÍFICA

CALOR ESPECÍFICO

CONDUTIVIDADE DAS PARTÍCULAS

FRAGILIDADE

ASPEREZA

B) AS QUE SE ASSOCIAM COM TODO O SISTEMA: SÃO CARACTERÍSTICAS DO CONJUNTO (DA AMOSTRA) E NÃO DO SÓLIDO EM SI.

DENSIDADE APARENTE

ÁREA ESPECÍFICA

PERMEABILIDADE

ÂNGULO DE REPOUSO NATURAL

7.1 TAMANHO DA PARTÍCULA

Embora a classificação não seja muito visível, consideram-se cinco tipos de sólidos particulados:

PÓ – PARTÍCULAS DE 1 MICRON A 0,5 mm.

SÓLIDOS GRANULARES – PARTÍCULAS DE 0,5 A 10mm.

BLOCOS PEQUENOS – 1 A 5 cm

BLOCOS MÉDIOS – 5 A 15 cm

BLOCOS GRANDES – MAIORES QUE 15 cm.

7.2 MATERIAIS COM PARTÍCULAS UNIFORMES:

SÃO MATERIAIS EM QUE TODAS AS PARTÍCULAS SÃO IGUAIS. NESSE CASO, O NÚMERO DE PARTÍCULAS, O VOLUME E A SUPERFÍCIE EXTERNA É BASTANTE SIMPLES DE SER CALCULADO.

O TAMANHO PODE SER DEFINIDO ASSIM:

DIMENSÃO LINEAR DE MAIOR IMPORTÂNCIA:

DIÂMETRO NO CASO DE ESFERA, ARESTA NO CASO DE CUBO, ETC.

DIÂMETRO DA ÁREA CÍRCULO DE MESMA DE SECÇÃO TRANSVERSAL QUE A PARTÍCULA EM SUA POSIÇÃO DE MÁXIMA ESTABILIDADE.

DIRETAMENTE POR MEIO DE MICROSCÓPIO: MÉTODO DE ROSIWAL

PENEIRAMENTO: FAZER PASSAR POR MALHAS PROGRESSIVAMENTE MENORES, ATÉ QUE FIQUE RETIDA. O TAMANHO É A MÉDIA DAS DUAS PENEIRAS.

MÉTODOS INDIRETOS:

DECANTAÇÃO E ELUTRIAÇÃO:

BASEIAM-SE NA MEDIDA DA VELOCIDADE DE DECANTAÇÃO DA PARTÍCULA NUM FLUIDO. ESTA VELOCIDADE ESTÁ RELACIONADA DIRETAMENTE COM AS DIMENSÕES DA PARTÍCULA.

CENTRIFUGAÇÃO:

SEGUE O MESMO PRINCÍPIO DA DECANTAÇÃO E DA ELUTRIAÇÃO, PORÉM A FORÇA GRAVITACIONAL SOBRE A PARTÍCULA É SUBSTITUIDA POR UMA FORÇA CENTRÍFUGA MAIOR. É USADA QUANDO AS PARTÍCULAS SÃO MUITO PEQUENAS, SENDO POR ISSO A DECANTAÇÃO NATURAL MUITO LENTA.

AS CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES DO MATERIAL SÓLIDO PODERÃO SER CALCULADAS EM FUNÇÃO DO DIÂMETRO:

SUPERFÍCIE EXTERNA DA PARTÍCULA

VOLUME DA PARTÍCULA

FATOR DE FORMA

NÚMERO DE PARTÍCULAS NA AMOSTRA

SUPERFÍCIE EXTERNA

SUPERFÍCIE ESPECÍFICA.

7.3 MATERIAIS HETEROGÊNIOS:

NESTE CASO O MATERIAL TERÁ DE SER SEPARADO EM FRAÇÕES COM PARTÍCULAS UNIFORMES POR QUALQUER DOS MÉTODOS:

DECANTAÇÃO

ELUTRIAÇÃO

CENTRIFUGAÇÃO

NO ENTANTO, O MAIS PRÁTICO É PASSAR O MATERIAL ATRAVÉS DE UMA SÉRIE DE PENEIRAS COM MALHAS PROGRESSIVAMENTE MENORES, CADA UMA DAS QUAIS RETÉM UMA PARTE DA AMOSTRA. ESTA OPERAÇÃO É CONHECIDA COMO:

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA,

QUE SE USA PARA PARTÍCULAS COM DIÂMETRO ENTRE 75 µm E 40 MICRON.

ABAIXO DESSE VALOR, DEVE-SE RECORRER AOS MÉTODOS JÁ MENCIONADOS ACIMA.

PARA A ANÁLISE GRANULOMÉTRICA, AS PENEIRAS SÃO PADRONIZADAS QUANTO:

- ABERTURA DAS MALHAS
- ESPESSURA DOS FIOS DE QUE SÃO FEITAS

SÉRIES DE PENEIRAS MAIS IMPORTANTES:

BRITISH STANDARD (BS)

INSTITUTE OF MINING AND METALLURGY (IMM)

NATIONAL BUREAU OF STANDARDS - WASHINGTON

TYLER (SÉRIE TYLER) – QUE A MAIS USADA NO BRASIL

SÉRIE TYLER

CONSTA DE 14 PENEIRAS

TEM COMO BASE UMA PENEIRA DE 200 MALHAS POR POLEGADA OU 200 MESH (MALHA).

ESSA ESCALA É FEITA COM FIOS DE 0,05334mm, DANDO UMA ABERTURA LIVRE DE 0,074mm. É ADOTADA PELO “NATIONAL BUREAU OF STANDARDS”.

AS DEMAIS PENEIRAS DA SÉRIE SÃO COLOCADAS ACIMA DESTA, DURANTE O ENSAIO E APRESENTAM:

150-100-65-48-35-28-20-14-10-8-6-4-3mesh.

A ÁREA DE PASSAGEM DE UMA DESSAS PENEIRAS É O DOBRO DA ÁREA DA PENEIRA SEGUINTE DE MAIOR MESH. ASSIM A ABERTURA MAIOR É RAIZ QUADRADA DE 2, (1,4142) VEZES A ABERTURA DA PENEIRA SEGUINTE.

PENEIRAS DA SÉRIE TYLER PADRÃO

MALHA	ABERTURA LIVRE (mm)
3	6,680
4	4,699
6	3,327
8	2,362
10	1,651
14	1,168

20	0,833
28	0,589
35	0,417
48	0,295
65	0,208
100	0,147
150	0,104
200 (BASE)	0,074
230	0,061
270	0,053
325	0,043
400	0,038

EMBORA NORMALMENTE NÃO SEJAM USADAS, OUTRAS PENEIRAS SÃO INSERIDAS ENTRE AS CONSIDERADAS “STANDARDS”.

A RAZÃO ENTRE AS ABERTURAS DESSAS PENEIRAS EM RELAÇÃO AS SUBSEQUENTES , SEJAM DA SÉRIE PADRÃO OU NÃO, É A RAIZ QUARTA DE 2, OU SEJA 1,1892.

ESSAS PENEIRAS SÃO:

MALHA	ABERTURA LIVRE (mm)
2 ½	7,925

3 ½	5,613
5	3,962
7	2,794
9	1,981
12	1,397
16	0,991
24	0,701
32	0,495
42	0,351
60	0,246
80	0,175
115	0,124
170	0,088

7.4 O ENSAIO:

TERMINADO O ENSAIO, AS QUANTIDADES RETIDAS NAS DIVERSAS PENEIRAS E NA PANELA SÃO DETERMINADAS POR PESAGEM E AS DIVERSAS FRAÇÕES RETIDAS PODEM SER CALCULADAS DIVIDINDO AS DIVERSAS MASSAS RETIDAS PELA MASSA TOTAL DA AMOSTRA.

CADA FRAÇÃO RETIDA PODERÁ SER CARACTERIZADA INDIFERENTEMENTE DE DOIS MODOS:

- A) COMO FRAÇÃO QUE PASSOU NA PENEIRA $i-1$ E FICOU RETIDA NA PENEIRA i . POR EXEMPLO: SE AS PENEIRAS FOREM A 14 E A 20, SERÁ A FRAÇÃO (14/20) OU (-14 +20).

- B) COMO A FRAÇÃO REPRESENTADA PELAS PARTÍCULAS DE DIÂMETRO D IGUAL À MÉDIA ARITMÉTICA DAS ABERTURAS DAS MALHAS DAS PENEIRAS i e $i-1$. NO MESMO EXEMPLO, SERÁ A FRAÇÃO COM PARTÍCULAS DE TAMANHO OU DIÂMETRO D IGUAL À MÉDIA ENTRE 0,833 E 1,168, PORTANTO 1,000mm.

7.5 PROPRIEDADES DOS SÓLIDOS PARTICULADOS

(a) FORMA:

É UMA VARIÁVEL IMPORTANTE PARA FINS DE CÁLCULO DE PROCESSO. CERTAS CARACTERÍSTICAS COMO A POROSIDADE E A PERMEABILIDADE DEPENDEM DA FORMA DAS PARTÍCULAS.

PARÂMETROS DE FORMA:

FATOR DE FORMA (λ) = (a)/(b)

FATOR DE FORMA CRIADO POR LEVA (λ_L), SERÁ USADO PARA O CÁLCULO DE PERDA DE CARGA DE FLUIDOS ATRAVÉS DE LEITOS SÓLIDOS POROSOS OU FLUIDIZADOS.

$\lambda_L = 0,25 \cdot s/v^{2/3}$ onde, s = superfície externa da partícula

v = volume da partícula

D = diâmetro da partícula

$s = a.D^2$ e $v = b.D^3$ o que conduz a

$\lambda_L = 0,25 \cdot (a)/(b)^{2/3}$

(b) ESFERICIDADE (ψ) = s_E/s

RELAÇÃO ENTRE A SUPERFÍCIE EXTERNA DA ESFERA DE MESMO VOLUME QUE A PARTÍCULA E A SUPERFÍCIE EXTERNA DA PARTÍCULA.

$$(\psi) = s_E/s = [3,1416 \times (D_E)^2]/a.D^2$$

Como $v_E = v$, teremos $3,1416 \times (D_E)^3 = b.D^3$ e então substituindo

Na definição de esfericidade,

$$(\psi) = 4,836 \cdot (b)^{2/3}/(a)$$

ESFERICIDADES TÍPICAS:

CARVÃO PULVERIZADO	0,73
CORTIÇA	0,69
FULIGEM	0,89
VIDRO MOIDO	0,65
MICA	0,28
ANÉIS DE RASCHIG	0,3
AREIA MÉDIA	0,75
AREIA ANGULOSA	0,73
AREIA ARREDONDADA	0,83
PÓ DE TUNGSTÊNIO	0,89

IMPORTANTE:

A MASSA ESPECÍFICA SERVE PARA DIVIDIR OS SÓLIDOS NOS SEGUINTE GRUPOS:

LEVES: < 0,5 t/m³, SERRAGEM, TURFA, COQUE DE PETRÓLEO.

MÉDIOS: ENTRE 1 E 2 t/m³, AREIA, MINÉRIOS

MUITO PESADOS: > 2 t/m³, MINÉRIOS DE FERRO OU DE CHUMBO.

(c) DUREZA:

DOS SÓLIDOS COSTUMA TER DOIS SIGNIFICADOS.

PARA OS PLÁSTICOS E METAIS É A RESISTÊNCIA AO CORTE

PARA OS MINERAIS É A RESISTÊNCIA AO SEREM RISCADOS POR OUTRO SÓLIDO.

A ESCALA DE DUREZA MAIS USADA PARA OS MINERAIS É A Mohs, QUE VAI DE 1 A 10. ONDE 10 É O DIAMANTE E 1 É O TALCO.

(d) FRAGILIDADE:

MEDE A FACILIDADE À FRATURA POR IMPACTO, MUITAS VEZES NÃO TEM RELAÇÃO COM A DUREZA.

Exemplo: os plásticos têm dureza baixa, mas não são frágeis

o carvão tem dureza baixa e é frágil.

(e) ASPEREZA:

DETERMINA O GRAU DE DIFICULDADE DE ESCORREGAMENTO DAS PARTÍCULAS. RELACIONA-SE COM A FORMA DAS PARTÍCULAS E A COESÃO DA AMOSTRA.

7.6 PROPRIEDADES DOS CONJUNTOS DAS PARTÍCULAS SÓLIDAS:

(a) POROSIDADE:

É A RELAÇÃO ENTRE O VOLUME DE VAZIOS (OU POROS) DA AMOSTRA E O VOLUME TOTAL (PARTÍCULAS E VAZIOS).

É A PROPRIEDADE QUE MAIS INFLUENCIA DIRETAMENTE AS DEMAIS PROPRIEDADES DO CONJUNTO DE PARTÍCULAS, COMO DENSIDADE APARENTE, A CONDUTIVIDADE E A SUPERFÍCIE EXTERNA.

A FORMA DAS PARTÍCULAS E A GRANULOMETRIA SÃO AS VARIÁVEIS MAIS IMPORTANTES NA DETERMINAÇÃO DA POROSIDADE.

A POROSIDADE DOS MATERIAIS DE RECHEIO MAIS COMUNS SÃO AS SEGUINTE:

Tam. nominal	Anéis Raschig	Anéis Carbono	Selas Berl	Selas intalox
½"	0,568	0,707	--	--
¾"	0,742	--	0,710	
1"	0,685	0,745	0,764	0,740
2"	0,734	0,730	--	--
1 ½"	0,711	0,670	0,760	0,800

(b) MASSA ESPECÍFICA APARENTE ("BULK DENSITY"):

ENTENDIDO COMO A MASSA POR UNIDADE DE VOLUME DO SÓLIDO PARTICULADO.

PODE SER CALCULADA POR BALANÇO MATERIAL A PARTIR DAS MASSAS ESPECÍFICAS DO SÓLIDO E DO FLUIDO, QUE MUITAS VEZES É O AR.

Vejamos o exemplo tomando como base de cálculo 1 m³ de areia

Sendo a massa específica do sólido = 2,65 t/m³

A porosidade = 0,42 (valor tirado de gráfico).

Volume dos poros = 0,42 m³

Volume de sólidos = 0,58 m³

A esfericidade em leito denso = 0,75

$$\begin{aligned} \text{A massa específica (ar a } 20^{\circ}\text{C e } 1 \text{ atm)} &= (1 \times 29)/(1 \times 0,082 \times 293) \\ &= 1,207 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Então a massa dos poros será: $0,42 \times 1,207 = 0,51 \text{ kg}$

Massa de sólidos = $0,58 \times 2,65 \times 1000 = 1537 \text{ kg}$

Massa total = $1537 + 0,51$ então a “Bulk density” = $1537,51 \text{ kg/m}^3$

(c) PERMEABILIDADE:

É RELACIONADA COM A POROSIDADE E A FORMA DAS PARTÍCULAS. USA-SE ESTE PARÂMETRO NO ESTUDO DO ESCOAMENTO DE FLUIDOS ATRAVÉS DE LEITOS POROSOS.

(d) COESÃO:

TEM RELAÇÃO DIRETA COM A MOBILIDADE DO LEITO GRANULAR.

(e) ÂNGULO DE REPOUSO NATURAL:

É O ÂNGULO FORMADO PELA SUPERFÍCIE DA PILHA DE MATERIAL COM A HORIZONTAL.

O ÂNGULO DE REPOUSO NATURAL NÃO DEPENDE SÓ DA NATUREZA DO MATERIAL, SUA FORMA GEOMÉTRICA E GRANULOMÉTRICA, MAS SOFRE TAMBÉM A INFLUÊNCIA FORTE DA UMIDADE, PRESSÃO DE COMPACTAÇÃO E DO MODO COMO O MONTE DE PARTÍCULAS É FORMADO.