



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

- PQI 3203 Fenômenos de Transporte I

Ardson dos Santos Vianna Júnior - ASVJ

e-mail: ardson@usp.br





ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Aula 15.1 – Propriedades de leitos

PQI 3203 Fenômenos de Transporte



Sumário - Propriedades de leitos

1. Ângulo de repouso
2. Porosidade
3. Densidade aparente
4. Viscosidade
5. Permeabilidade



Figure 4-2. Large gravel piles at rock and stone facility near Marblehead, Ohio.



1 Ângulo de repouso

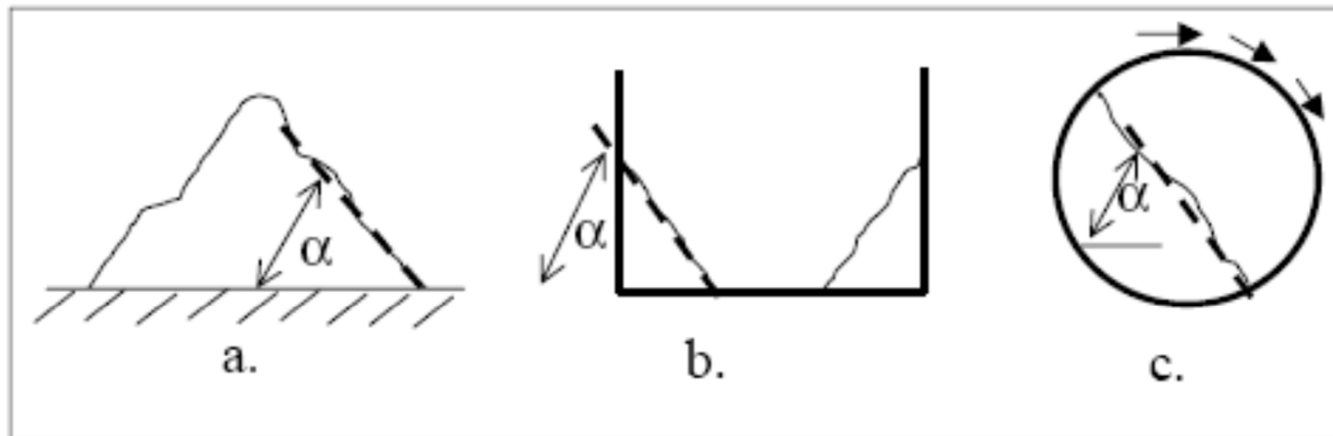


Figure 4-1. Angle of repose, α , of (a) a pile of powder, (b) powder in a container, and (c) powder in a rolling drum.



2 Porosidade

$$\varepsilon = \frac{\text{volume de vazios}}{\text{volume total}}$$



Figure 4-4. Addition of phase volumes yields the total volume.

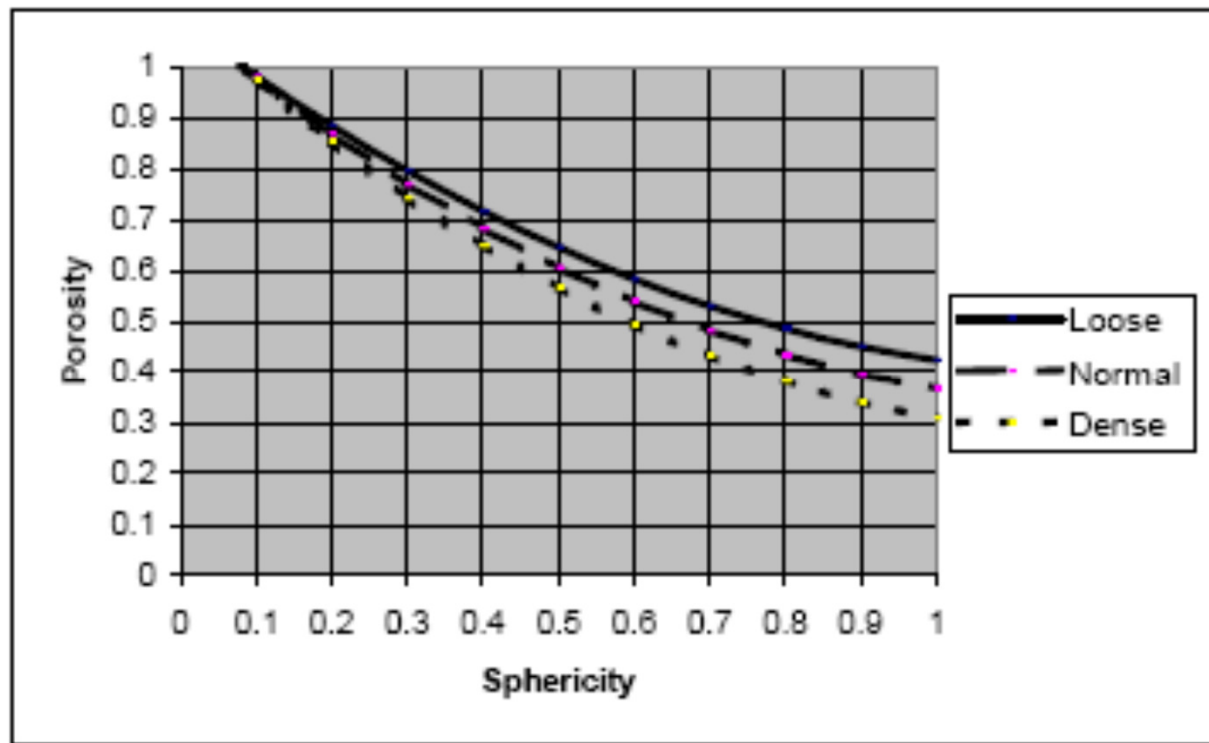


2 Porosidade de leitos

forma	Dp (pol)	Fração de vazios
Esferas	1/32	0,393
cubos	1/4	0,455
Discos	1/8 dia 1/16	0,410
Selas Berl	0,236	0,685
Anéis Raschig	6 mm	0,870



2 Porosidade



3 Densidade aparente

- Depende do empacotamento

$$\rho_{aparente} = \varepsilon \rho_{fluido} + (1 - \varepsilon) \rho_{sólido}$$



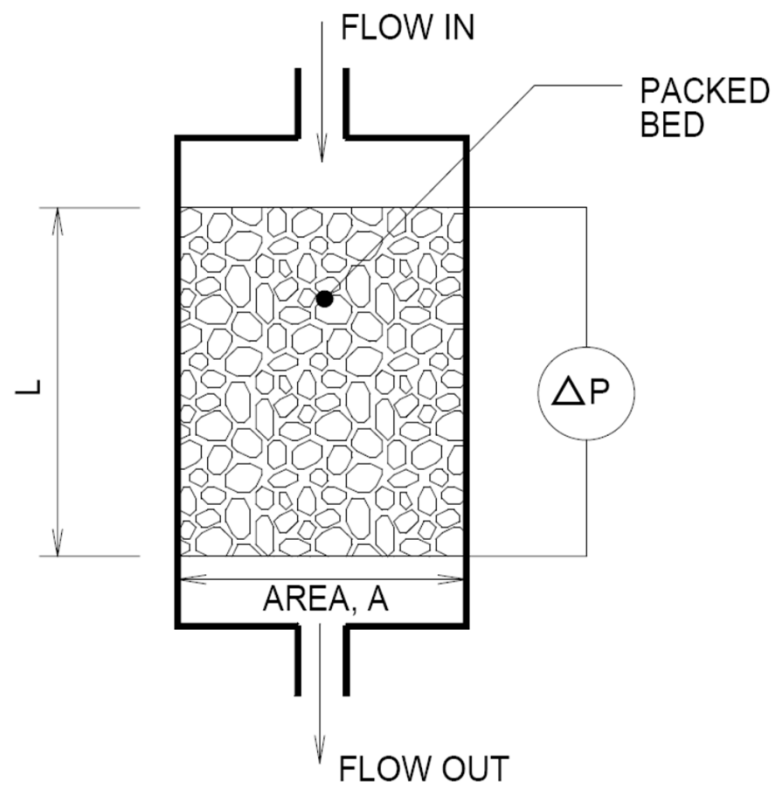
4 Viscosidade

- Depende do empacotamento
- Einstein (1906)
- μ - Viscosidade do fluido
- Outras relações

$$\mu_{aparente} = \mu[1 + 2,5(1 - \varepsilon)]$$



5 Permeabilidade



$$\frac{Q}{A} = \frac{k}{\mu} \left(\frac{P_0 - P_L}{L} \right)$$



5 Permeabilidade de leitos

forma	Dp (pol)	K (m²)
Esferas	1/32	$6,2 \cdot 10^{-10}$
cubos	1/4	$6,9 \cdot 10^{-8}$
Discos	1/8 dia 1/16	$6,3 \cdot 10^{-9}$
Selas Berl	0,236	$9,8 \cdot 10^{-8}$
Anéis Raschig	6 mm	$1,7 \cdot 10^{-7}$



6 Conclusões

- Sistemas particulados: multifásico
- Novas propriedades fluidodinâmicas
- Sólidos $\neq$ líquidos



Bibliografia

- ALLEN, T. **Particle size measurement**. Springer, 2013.
- JM Coulson, JF Richardson, JR Backhurst, JH Harker, Chemical Engineering: Vol. 2. Particle Technology and Separation Processes, 6th ed., Butterworth-Heinemann, 2019.
- NEIKOV, Oleg D.; LOTSKO, Dina V.; GOPIENKO, Victor G. Powder characterization and testing. **Handbook of Non-Ferrous Metal Powders: Technologies and Applications**. Oxford: Elsevier, 2009.