

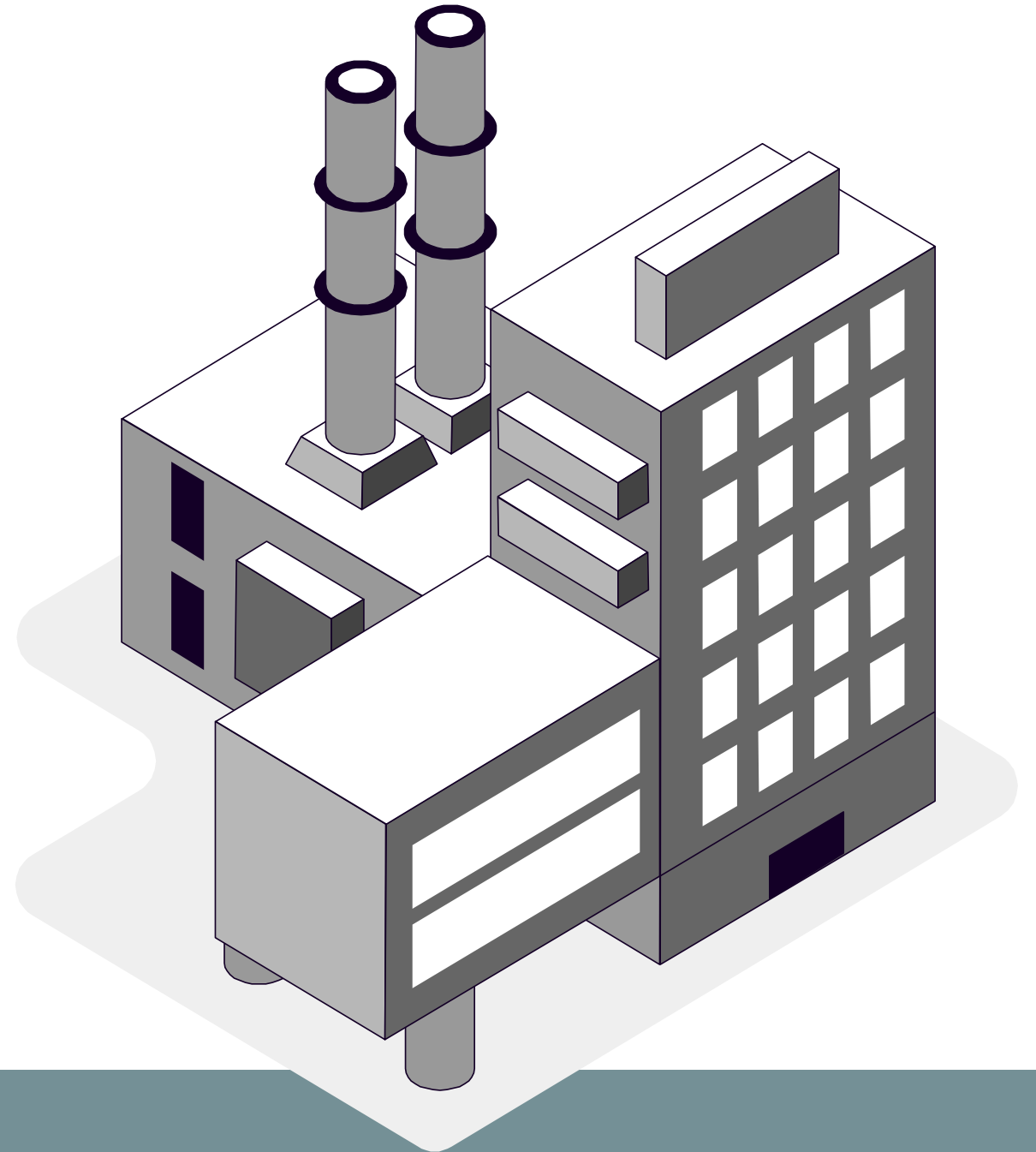
OPERAÇÕES UNITÁRIAS I

PROFª KASSIA G SANTOS

2020/1- CURSO REMOTO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

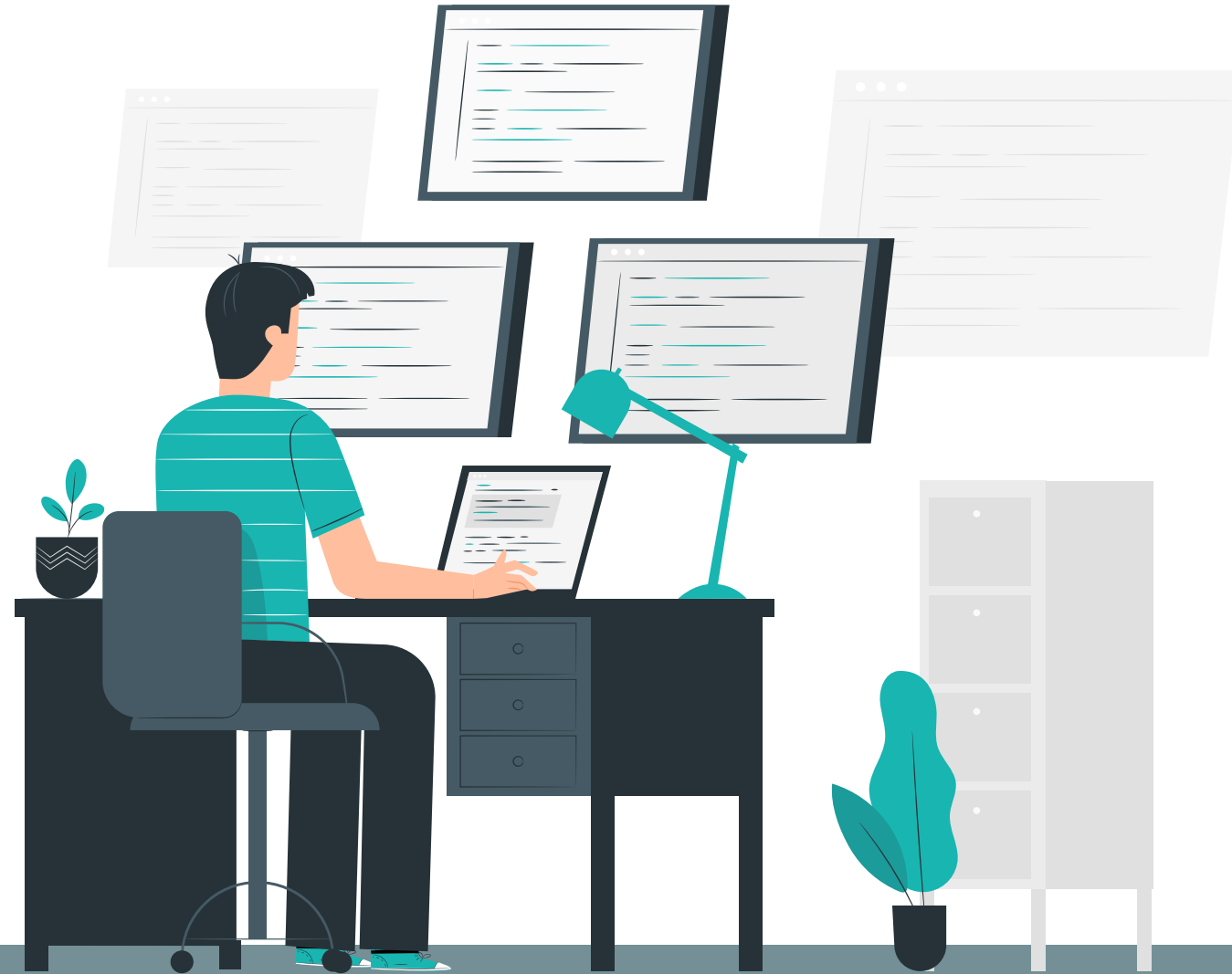
UFTM



AULA 7

2. Caracterização de Partículas

2.2 Morfologia, porosidade e ângulo de repouso



III) Forma da Partícula: Formas regulares

a) Esfericidade (ϕ):

$$\phi = \frac{S_e}{S_p}, \quad 0 < \phi \leq 1$$

S_p = Área Superficial da partícula

S_e = Área Superficial da esfera de igual volume

| Partículas | Esfericidade (ϕ) |
|---------------------|-------------------------|
| Esfera | 1,000 |
| Cilindro Equilátero | 0,874 |
| Cubo | 0,806 |
| Cilindro (h = 5xD) | 0,691 |
| Disco (h = D / 6) | 0,594 |
| Disco (h = D / 20) | 0,323 |
| Disco (h = D / 30) | 0,254 |

III) Forma da Partícula: Formas irregulares

b) Esfericidade de partículas irregulares (ϕ):

$$\phi = \frac{6}{\rho_s S_w d_p}, \quad 0 < \phi \leq 1$$

S_w = Superfície específica medida pela técnica BET
(que mede a área superficial por adsorção gasosa)



| Partículas | Esfericidade (ϕ) |
|------------|-------------------------|
| Areia I | 0,80 |
| Hematita | 0,70 |
| Areia II | 0,67 |
| Itabirito | 0,66 |
| Barita | 0,55 |

III) Forma da Partícula: Formas irregulares

c) Arredondamento (A) e Circularidade (C):

Comparam a superfície do objeto com a superfície do disco de mesmo perímetro que a partícula.

$$A = \frac{1}{C} = \frac{A_c}{A_p} = \frac{4\pi S_p}{P_e^2}$$



A_c é área do menor diâmetro de uma esfera circunscrita à partícula;
 A_p é a área projetada da partícula em posição de repouso;
 P_e é o perímetro da linha que delimita a partícula
 S_p é a área superficial da partícula.

Se $A < 1,25$
partícula é circular;

$1,25 < A < 2,0$
partícula é dita angular

$A > 2,0$
a partícula é comprida.

III) Forma da Partícula: Formas irregulares

c) Arredondamento (A) e Circularidade (C):

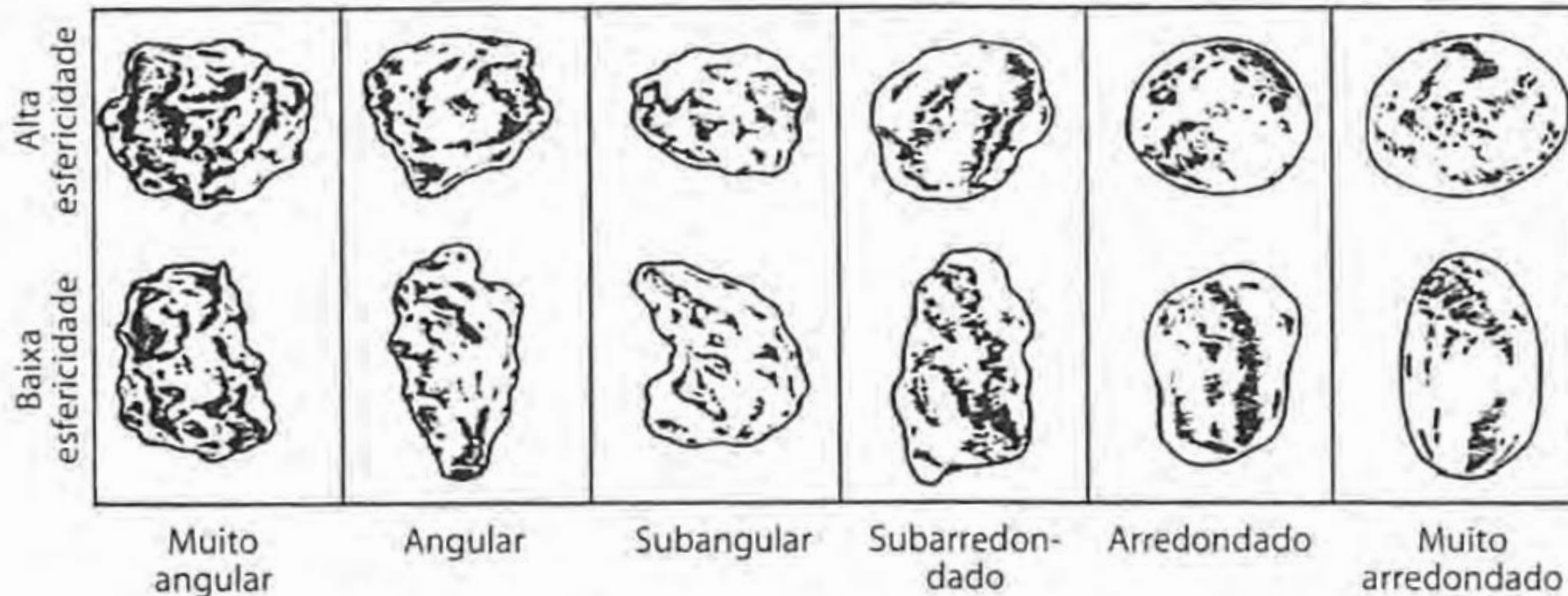


Figura 6.7 Padrão de imagens de arredondamento (McLANE, 1995).

Se $A < 1,25$
partícula é
circular;

$1,25 < A < 2,0$
partícula é dita
angular

$A > 2,0$
a partícula é
comprida.

III) Forma da Partícula: Formas irregulares

d) Fator de forma (ϕ'):

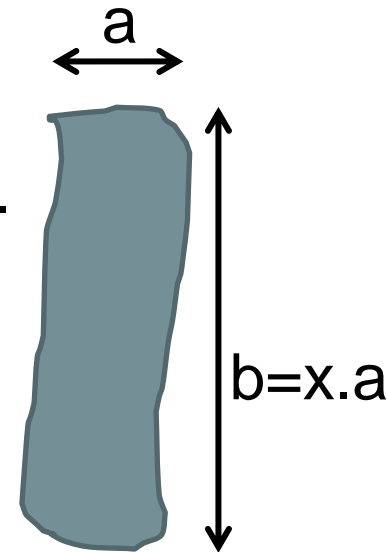
$$\phi' = \phi^{3/2} = \frac{\text{Volume da Partícula}}{\text{Volume da Esfera de mesma Área Superficial}}$$

e) Alongamento (A_l) e Razão de Aspecto (L):

$$A_l = \frac{b}{a}; \quad L = \frac{a}{b}$$

a é a menor dimensão
 b é a maior dimensão da partícula.

$A_l=1$: a partícula é esférica ou quadrática,
 $A_l>>1$: a partícula se torna alongada.



Uma aproximação empregada para obter a esfericidade a partir de imagens 2D (Peçanha e Massarani, 1986):

$$\phi = \frac{1}{A_l}$$

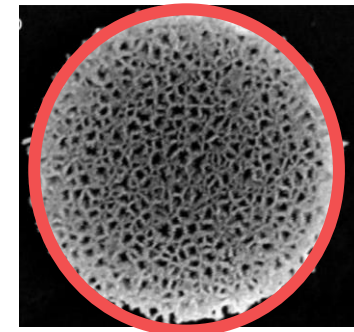
IV) Densidade ou massa específica de sólidos

a) **Densidade Real** : é a densidade do material maciço (não há nenhum poro interno). Obtida por picnometria a gás.



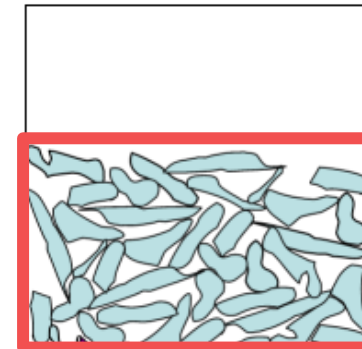
$$\rho = \frac{m}{V}$$

b) **Densidade Aparente**: É a densidade considerando o volume da partícula como o delimitado por sua superfície. Assim, os poros interno são contabilizados. obtida por picnometria tradicional com líquido inerte (a partícula não pode absorver o líquido)



$$\rho_a = \frac{m}{V_p}$$

c) **Densidade Bulk**: Ela relaciona a massa de material e o volume do recipiente (V_R) que ele ocupa. Assim, no volume entram os espaços vazios entre as partículas.

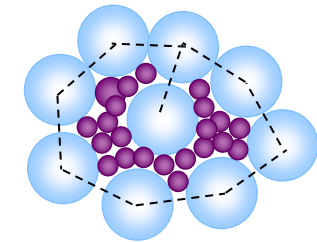
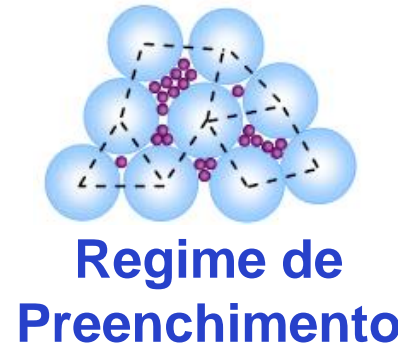
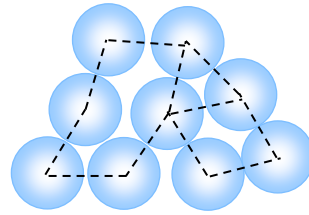


$$\rho_b = \frac{m}{V_R}$$

V) Porosidade e Empacotamento

Porosidade: é a fração de vazios em relação ao volume total que as partículas ocupam.

$$\varepsilon = \frac{V_{\text{vazios}}}{V_R}$$

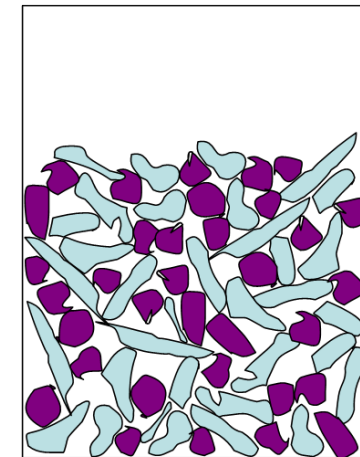
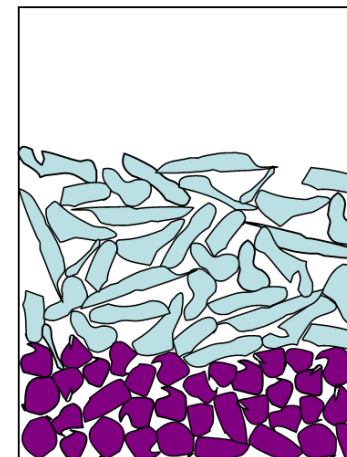


Regime de
Preenchimento

Regime de
Ocupação

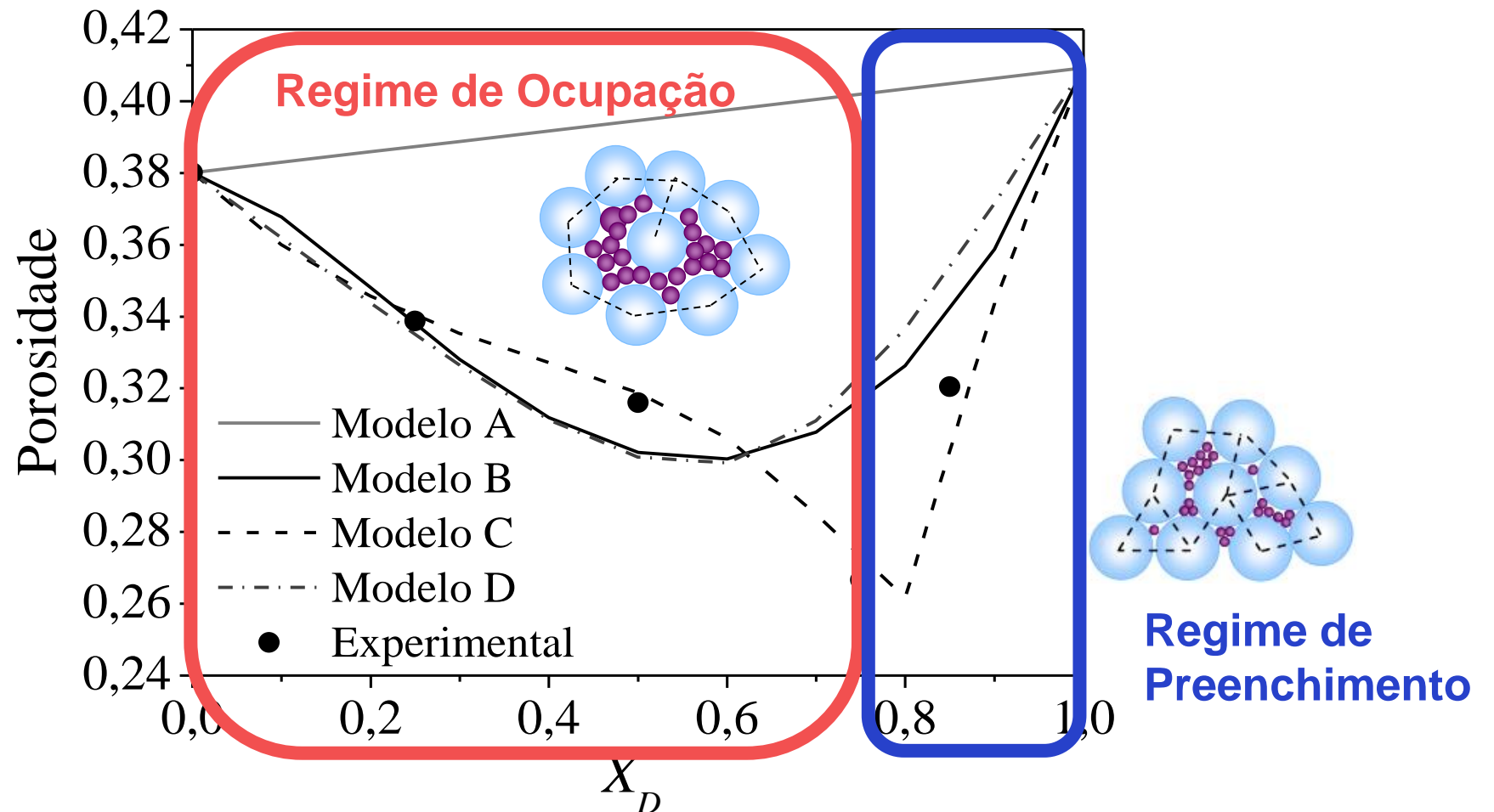
Empacotamento: é a fração do volume total que é realmente ocupada pelas partículas.

$$\alpha_s = \frac{V_{\text{partículas}}}{V_R} = 1 - \varepsilon$$



V) Porosidade e Empacotamento

Porosidade de misturas binárias de partículas esféricas

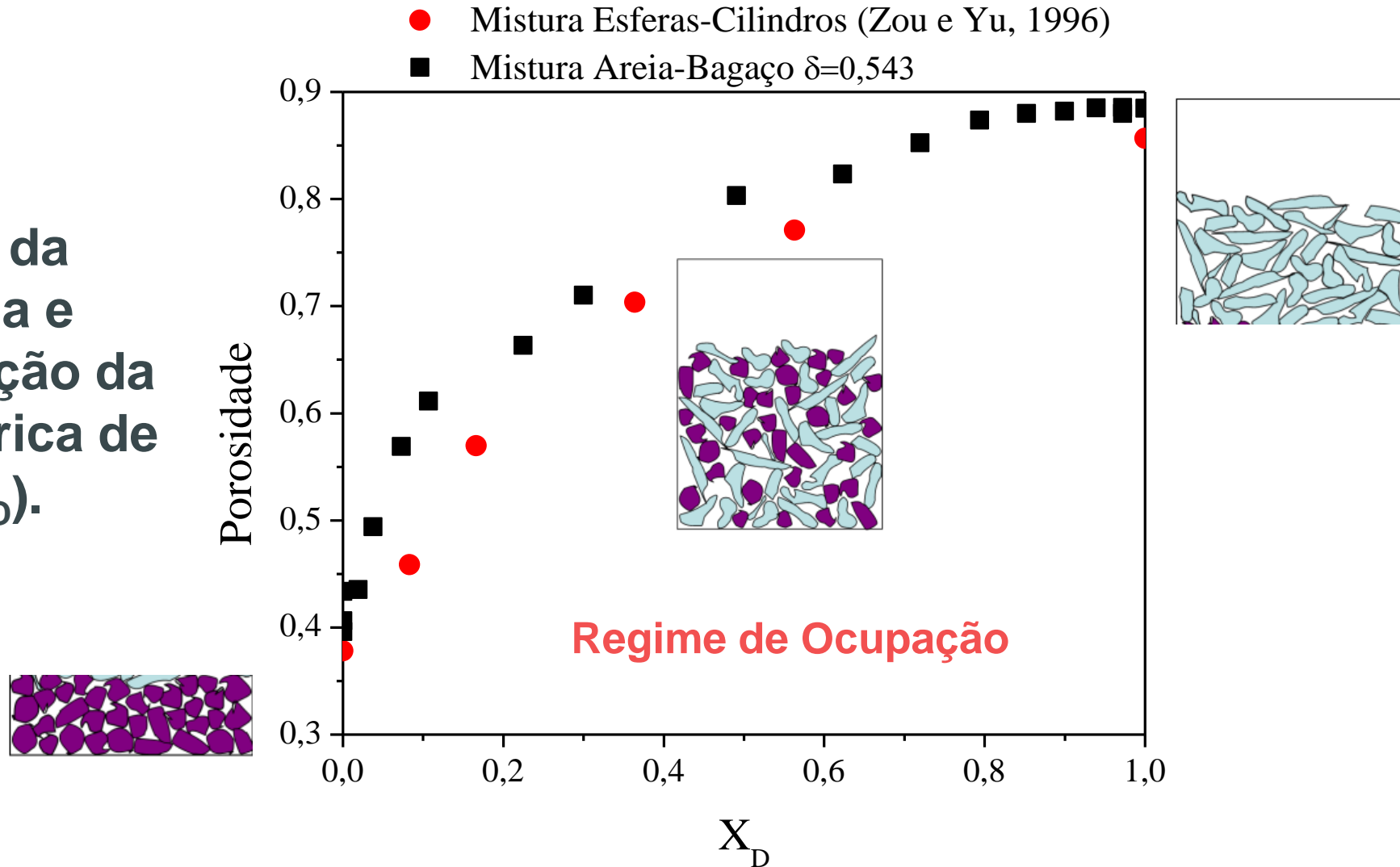


Ajuste dos modelos de empacotamento aos dados experimentais de porosidade em função da composição da mistura.

V) Porosidade e Empacotamento

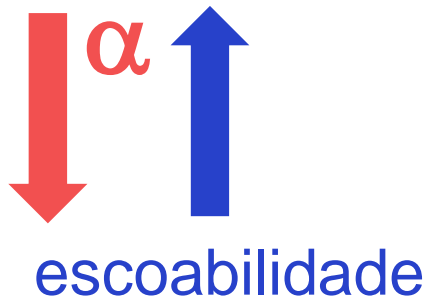
Porosidade de misturas binárias de partículas não esféricas

Porosidade da mistura areia e bagaço em função da fração volumétrica de bagaço (X_D).



VI) Ângulo de repouso **estático**

É o ângulo interno (α) entre a superfície de uma pilha de partículas e a superfície horizontal. Está relacionado à densidade, área superficial e formato da partícula, bem como ao coeficiente de atrito do material.



(a)



(b)

Soja: (a) experimental (21,4°); (b) simulado (21,5°).

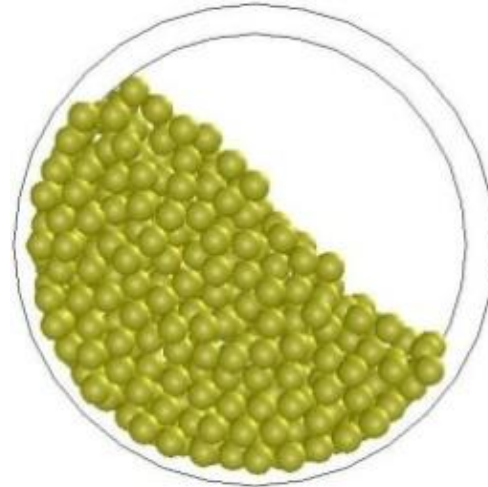


Resíduo de acerola: (a) experimental (39,2° ± 1,4°), (b) simulado (39,8)

VI) Ângulo de repouso **dinâmico**



(a) (41,4°)



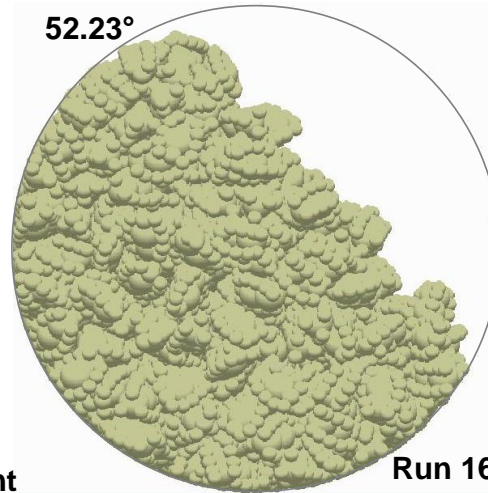
(b) (41,1°)

Grãos de Soja (25 rpm)



52.60°

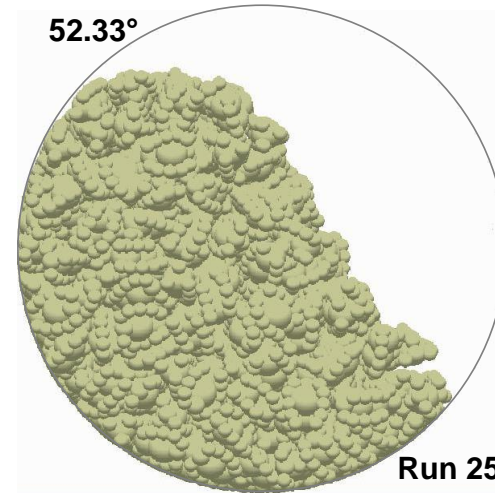
Experiment



52.23°

Run 16

Resíduo de acerola (25 rpm)



52.33°

Run 25

Atividades da Aula 5

Individual:

- ☐ Assista os vídeos indicados.
- ☐ Faça exercícios propostos e confira com os colegas.

