

Operações Unitárias Experimental I



Moagem
Profa. Lívia Chaguri

MOAGEM

FRAGMENTAÇÃO DE SÓLIDOS:

- Operação que tem por objetivo reduzir o tamanho dos fragmentos do material, matéria-prima ou produto final.
- Exemplos de fragmentação de sólidos:
 - moagem de cristais para facilitar sua dissolução (lixiviação)
 - britamento e moagem de combustíveis sólidos antes da queima
 - corte da madeira antes do cozimento na produção de celulose
 - moagem de sementes oleaginosas para acelerar a extração com solventes e produção de farinhas e farelos (trigo, soja, girassol entre outros).

MOAGEM

FRAGMENTAÇÃO DE SÓLIDOS – Objetivos

a) Aumentar as superfícies:

- extração – aumenta a velocidade de extração devido a maior área de contato entre as fases
- secagem – a diminuição de tamanho provoca o aumento da área e a diminuição da distância que a umidade para sair do interior do sólido.

b) Diminuir o tamanho do sólido para separar dois ou mais constituintes

c) Modificar as propriedades de um material que dependem do tamanho da partícula:

- cor (intensidade), afetado pelo tamanho da partícula;

MOAGEM

MECANISMO DE REDUÇÃO DE TAMANHO

Os sólidos podem sofrer redução de tamanho de várias formas:

1. Compressão



1. Quebra-nozes

2. Impacto



2. Martelo

3. Atrito/abrasão



3. Lima

4. Corte



4. Tesoura

MOAGEM

MECANISMO DE REDUÇÃO DE TAMANHO

Os sólidos podem sofrer redução de tamanho de várias formas:

1. Compressão



1. Quebra-nozes

2. Impacto



2. Martelo

3. Atrito/abrasão



3. Lima

4. Corte



4. Tesoura

MOAGEM

Características dos produtos desintegrados

- Produto moído sempre tem partículas com intervalo de tamanho variável
- Independente da alimentação ser uniforme
- Alguns moinhos controlam somente o maior tamanho das partículas

MOAGEM

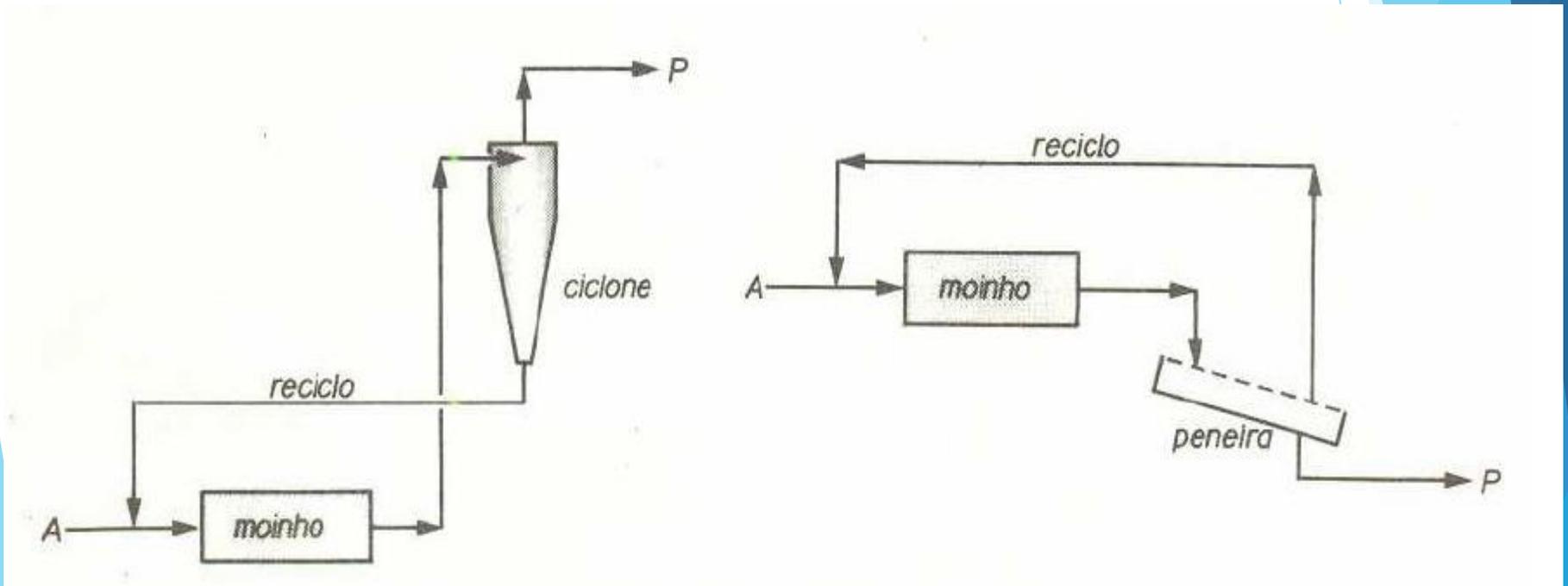
- Pode-se operar a seco ou a úmido.
- Operação a úmido economiza: 25% da energia elétrica.
- Controle do pó e sua classificação é melhor na operação a úmido.
- Moagem a seco essencial: cimento e cal.

MOAGEM

Tipo de operação

Batelada – descontínua

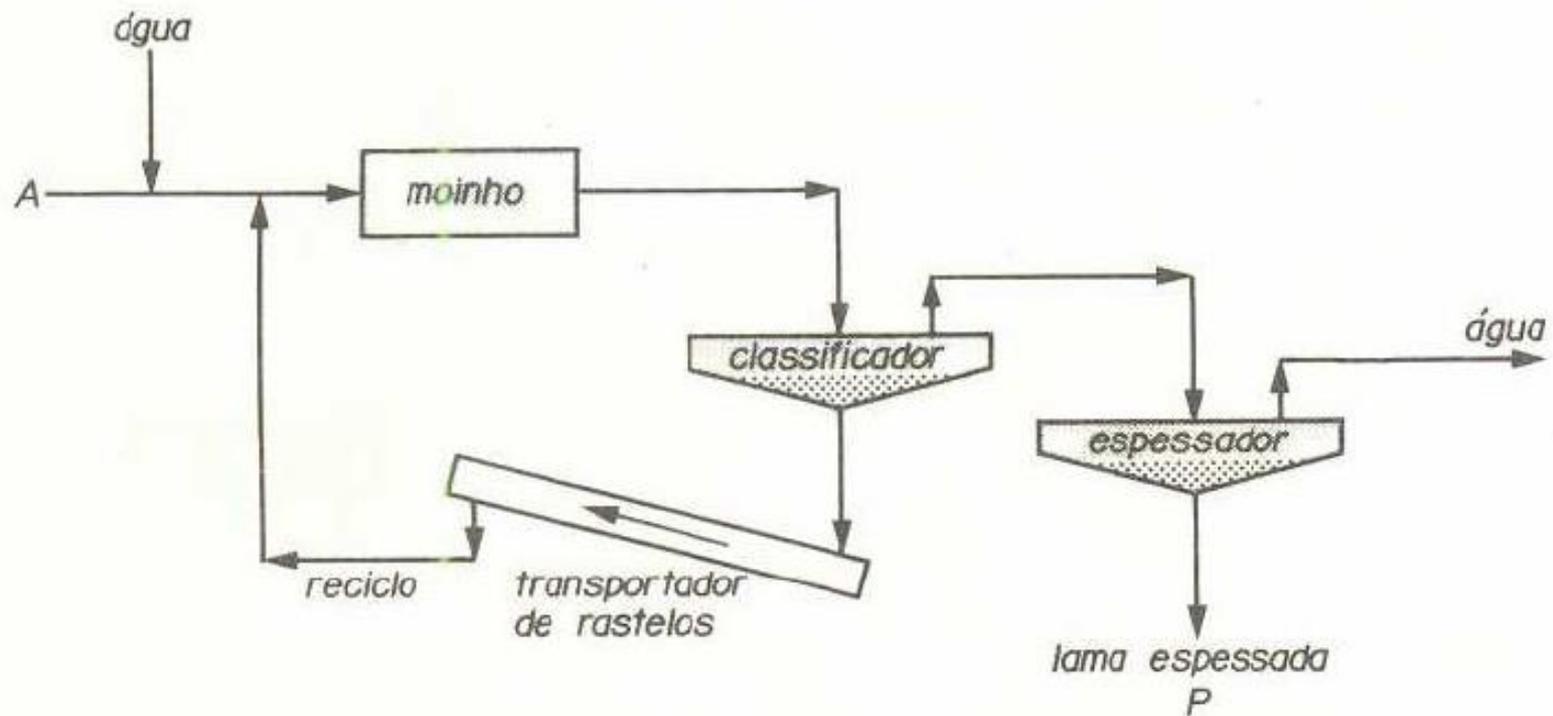
Operação contínua: em circuito aberto ou circuito fechado.



Operação circuito fechado com separação a seco.

MOAGEM

Tipo de operação



Operação circuito fechado com separação a úmido.

MOAGEM

Consumo de energia:

- O custo de energia: parcela importante no custo total da operação.
- O consumo de energia está relacionado com a estrutura interna do material e é composta de duas etapas:
 - abertura de pequenas fissuras;
 - formação de nova superfície (ΔS).

$$-W_u = e_S \cdot \Delta S \quad -W_B = -\frac{W_u}{\eta_F \cdot \eta_M}$$

MOAGEM

LEIS DE DIVISÃO DE SÓLIDOS: utilizadas para estimar a energia dissipada durante o processo de fragmentação.

A - LEI DE RITTINGER - empírica

B – LEI DE KICK - empírica

C – LEI DE BOND – semi-empírica

$$-dW = K \frac{-dD}{D^n} \quad (1)$$

MOAGEM

A - LEI DE RITTINGER - empírica

"O trabalho necessário para fragmentar o sólido é proporcional ao aumento da superfície produzida".

$$-W_u = K \left(\frac{1}{D_2} - \frac{1}{D_1} \right)$$

$$-W_u = K \cdot C \left(\frac{1}{D_2} - \frac{1}{D_1} \right)$$

MOAGEM

B – LEI DE KICK - empírica

"O trabalho necessário para fragmentar um sólido é função logarítmica da razão entre os tamanhos inicial e final dos fragmentos".

$$-W_u = K \ln\left(\frac{D_1}{D_2}\right)$$

$$-W_u = K \cdot \ln(m)$$

$$-W_u = K \cdot C \cdot \ln(m)$$

MOAGEM

C – LEI DE BOND – semi-empírica

"O trabalho é inversamente proporcional à raiz quadrada do tamanho produzido".

$$-W_u = 2K \left(\frac{1}{\sqrt{D_2}} - \frac{1}{\sqrt{D_1}} \right)$$

$$-W_u = K \cdot C \cdot W_i \left(\frac{1}{\sqrt{D_2}} - \frac{1}{\sqrt{D_1}} \right)$$

MOAGEM

**Índice de trabalho para moagem a úmido.
Para moagem a seco multiplicar w_i por 1,34**

| Material | Massa específica, g/cm ³ | Work index, w_i (kWh/t) |
|------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| Bauxita | 2,20 | 8,78 |
| Cimento clínquer | 3,15 | 13,45 |
| Cimento bruto | 2,67 | 10,51 |
| Argila | 2,51 | 6,30 |
| Carvão | 1,4 | 13,00 |
| Coque | 1,31 | 15,13 |
| Granito | 2,66 | 15,13 |
| Gesso | 2,69 | 6,73 |
| Minério de ferro | 3,53 | 12,84 |
| Calcário | 2,66 | 12,74 |
| Rocha fosfática | 2,74 | 9,92 |
| Quartzo | 2,65 | 13,57 |
| Hematita | 3,76 | 12,68 |

MOAGEM

C – LEI DE BOND – semi-empírica

- Partículas aproximadamente mesma forma geométrica
- Estimativas de consumo mais reais
- Única para prever consumo de máquinas que não foram instaladas

EXERCÍCIOS

1. Consome-se 30 hp para moer 140 t/h de um material entre 2 mm e 1 mm.

Qual a energia necessária para moer 120 t/h do mesmo material entre 1 mm e 0,5 mm ?

2. Fazer uma estimativa da energia necessária para britar 100 t/h de calcário, desde um diâmetro médio de 5 cm até o diâmetro final de 8 mesh Tyler.

a - Supor que 80% do peso da alimentação passam por uma peneira de 5 cm de malha e que o produto passa por uma peneira de 8 Mesh Tyler.

b - Todas as partículas da alimentação e do produto têm a mesma forma geométrica.

c - Britamento a seco.

EXERCÍCIOS

3. Para a execução de um filtro serão necessários 3 kg de areia com grãos maiores que 1,18 mm. Quantos quilos de areia serão necessários, se a areia apresenta a seguinte análise granulométrica:

| PENEIRA | MASSA RETIDA (g) |
|----------------|-------------------------|
| 4,75 mm | 15 |
| 2,36 mm | 110 |
| 1,18 mm | 248 |
| 600 μ m | 115 |
| 300 μ m | 92 |
| 150 μ m | 85 |
| TOTAL | 800 |

MOAGEM

EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS

Alimentador Vibratório:

Usado para alimentação de britadores e rebritadores.

Resistentes a cargas elevadas, permitindo o abastecimento direto por caminhões.



MOAGEM

EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS

Calha Vibratória: Dispositivo de retomada da pilha pulmão e classificação.



MOAGEM

EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS

Grelha Vibratória: Adequada para pré-classificação de materiais finos no processo de britagem de minérios efetuando a diminuição da carga do britador ou rebitador.



MOAGEM

EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS

Classificador / Lavador à Rosca: Possui grande utilidade na lavagem de minérios e agregados em geral, classificando o material super fino e separando as impurezas.

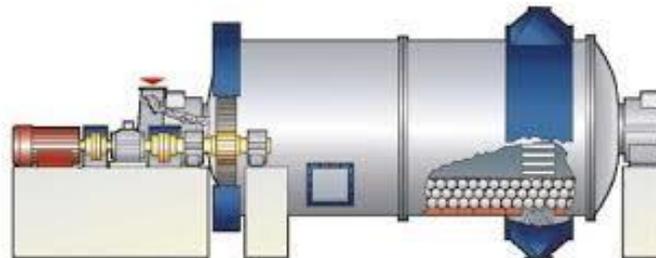
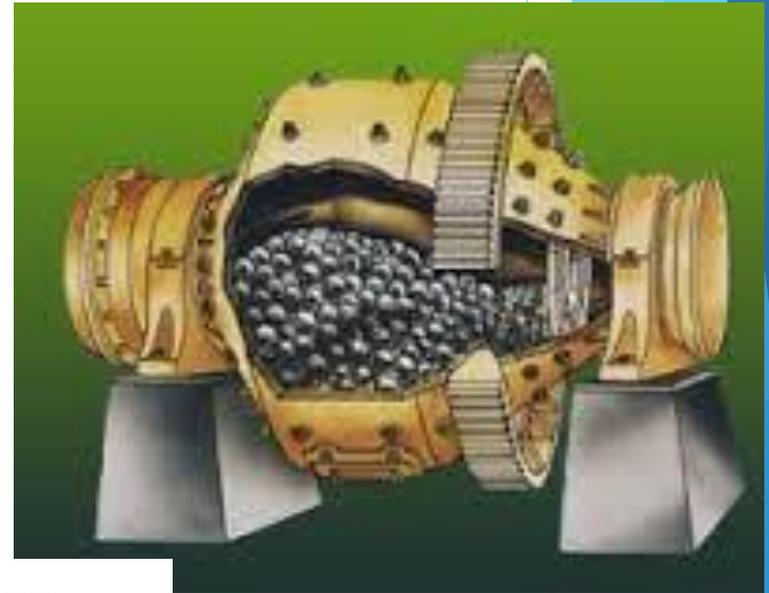


MOAGEM

EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS

Moinho de Bolas / Barras:

Utilizado para moagem de minérios finos (até 325 mesh); podendo ser por via úmida ou seca.

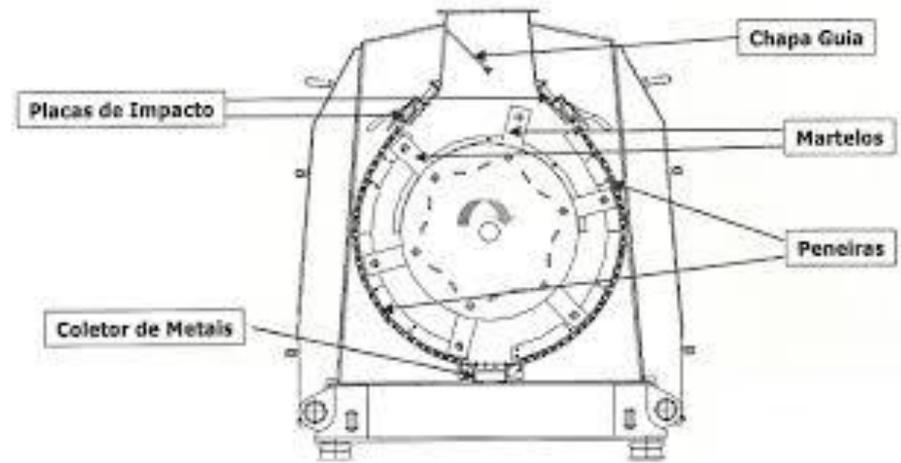


MOAGEM

EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS

Moinho a Martelos:

Com aplicação na moagem de materiais de baixa abrasividade, permitindo obter granulometria fina em uma só operação.

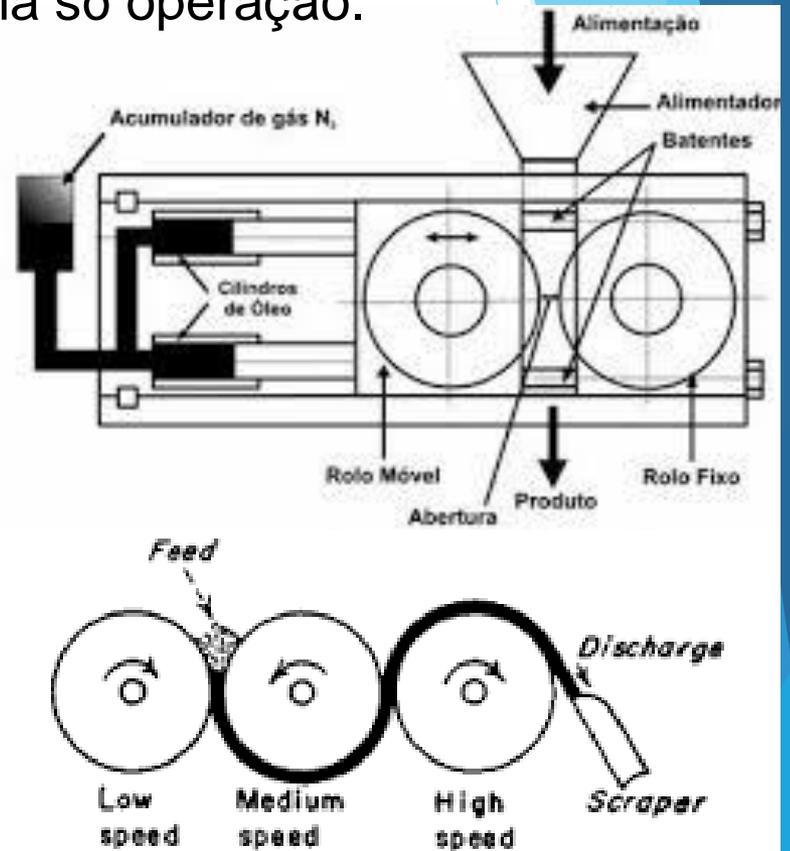


MOAGEM

EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS

Moinho Rolos:

Com aplicação na moagem de materiais de baixa abrasividade, permitindo obter granulometria fina em uma só operação.



MOAGEM

EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS

Moinho Pulverizador:

Caracterizado por sua alta rotação, sendo indicado para moagem de minérios de baixa ou nenhuma abrasividade, atingindo sólidos com granulometria fina (até 100 mesh) em uma só operação.



Panela BRASTORNO BT.2000



MOAGEM

Classificação equipamentos

- **Britadores:** fragmentação de partículas de tamanho grande para médio;
- **Trituradores:** para partículas de tamanhos médios;
- **Moinhos:** redução de partículas médias a pós finos.

MOAGEM

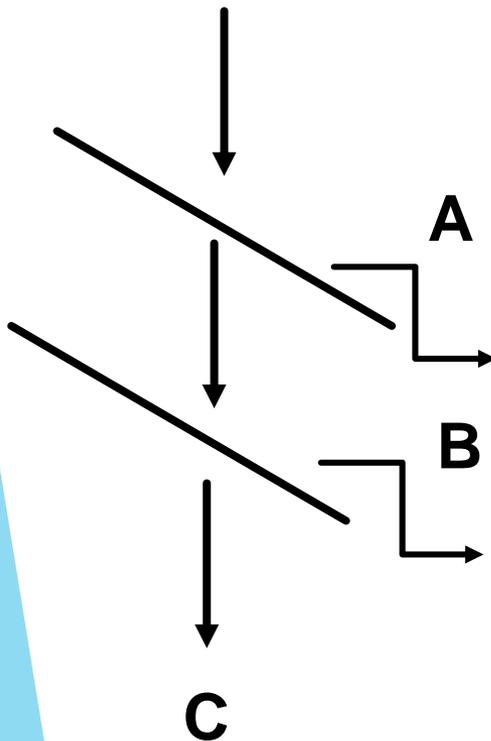
Variação de tamanho que existe entre a alimentação e o produto final, de acordo com o equipamento utilizado

| | ALIMENTAÇÃO | PRODUTO FINAL* |
|-------------------|--------------------|----------------------------|
| BRITADORES | | |
| Primário | 10 cm – 1,5 m | 0,5 – 5,0 cm |
| Secundário | 0,5 – 5,0 cm | 0,1 – 0,5 cm (10 a 3 mesh) |
| MOINHOS | | |
| Finos | 0,2 – 0,5 cm | 200 mesh |
| Coloidais | 80 mesh | até 0,01 μ m |

* (85% das partículas são menores que este tamanho)

Exercício para casa

Deseja-se peneirar areia, 4 t/h, no sistema de peneiras vibratórias abaixo esquematizado. Determinar a produção A, B e C em t/h, conhecendo a análise granulométrica da areia.



| Sistema Tyler (#) | Massa retida (g) | Diâmetro correspondente (mm) | Fração retida % | Fração % < <u>dM</u> |
|-------------------|------------------|------------------------------|-----------------|----------------------|
| +8 | 12,6 | 2,38 | 5,18 | 94,82 |
| -8+10 | 38,7 | 1,68 | 15,90 | 78,92 |
| -10+14 | 50,0 | 1,19 | 20,60 | 58,32 |
| -14+20 | 63,7 | 0,84 | 26,20 | 32,12 |
| -20+28 | 32,5 | 0,59 | 13,40 | 18,72 |
| -28+35 | 17,4 | 0,48 | 7,16 | 11,56 |
| -35+48 | 11,2 | 0,30 | 4,61 | 6,95 |
| -48+65 | 7,8 | 0,21 | 3,21 | 3,74 |
| -65+100 | 3,7 | 0,15 | 1,52 | 2,22 |
| -100+150 | 2,6 | 0,11 | 1,07 | 1,15 |
| -150+200 | 1,8 | 0,07 | 0,74 | 0,41 |
| -200 | 1,1 | - | 0,45 | 0 |

Link para acessar conteúdo

<http://sistemas.eel.usp.br/docentes/visualizar.php?id=8151869>