

USP - Escola de Engenharia de Lorena

# OPERAÇÕES UNITÁRIAS I

## SÓLIDOS PARTICULADOS - REDUÇÃO DE TAMANHO

Prof. Antonio Carlos da Silva

# REDUÇÃO DE TAMANHO

## ➤ Finalidades:

- Aumentar a reatividade de materiais sólidos
- Reduzir o volume de materiais fibrosos
- Separar ingredientes indesejáveis

# REDUÇÃO DE TAMANHO

## ➤ Meios de Redução:

- **Compressão:** gera produtos grossos.  
Exemplo: quebrador de nozes
- **Impacto:** gera produtos grossos, médios e finos. Exemplo: marreta
- **Atrito ou fricção:** gera produtos finos.  
Exemplo: lima
- **Corte:** gera produtos com tamanho e forma definidos. Exemplo: tesoura

# REDUÇÃO DE TAMANHO

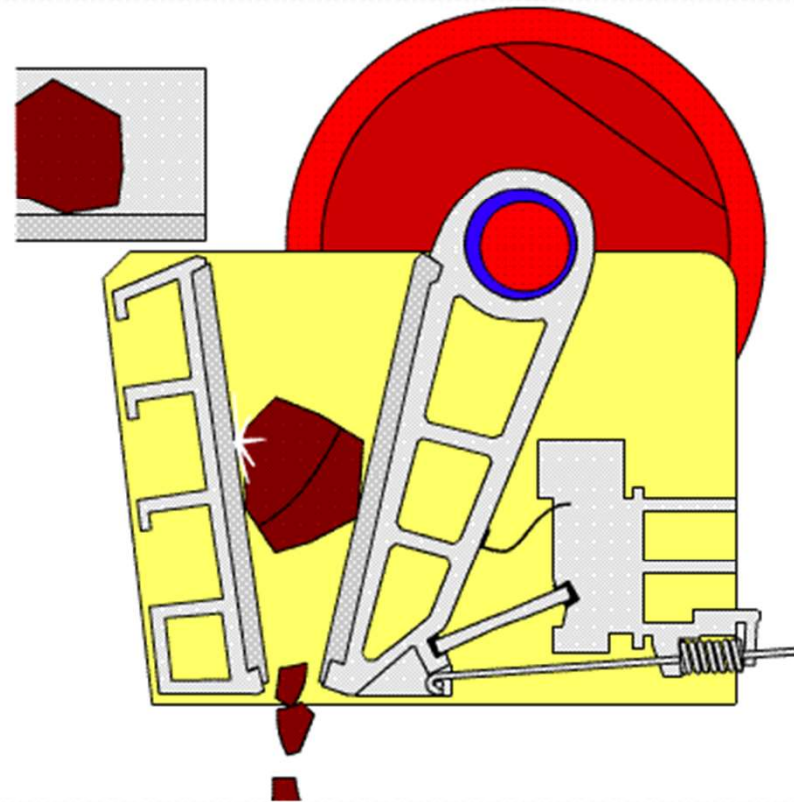
## ➤ Equipamentos:

- **Britadores:** operam a baixas velocidades, predominantemente por compressão, gerando partículas grossas
- **Moinhos:** gera partículas finas, operando por compressão, atrito ou impacto

# BRITADORES

- **Britadores de mandíbulas**
- **Britadores giratórios**
- **Britadores de rolos lisos**
- **Britadores de rolos dentados**
- **Britadores de cone**

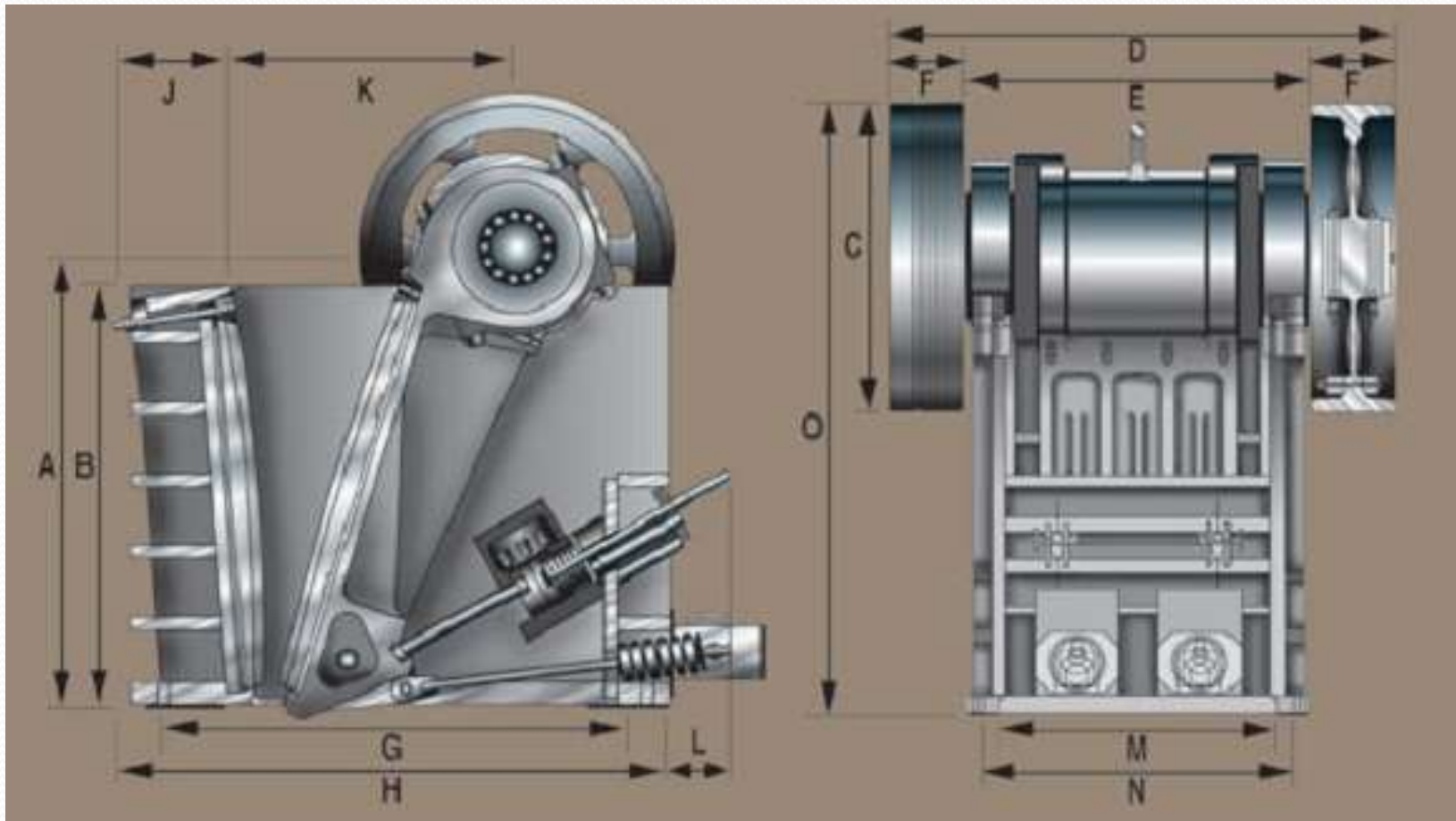
# BRITADOR DE MANDÍBULAS



# BRITADOR DE MANDÍBULAS



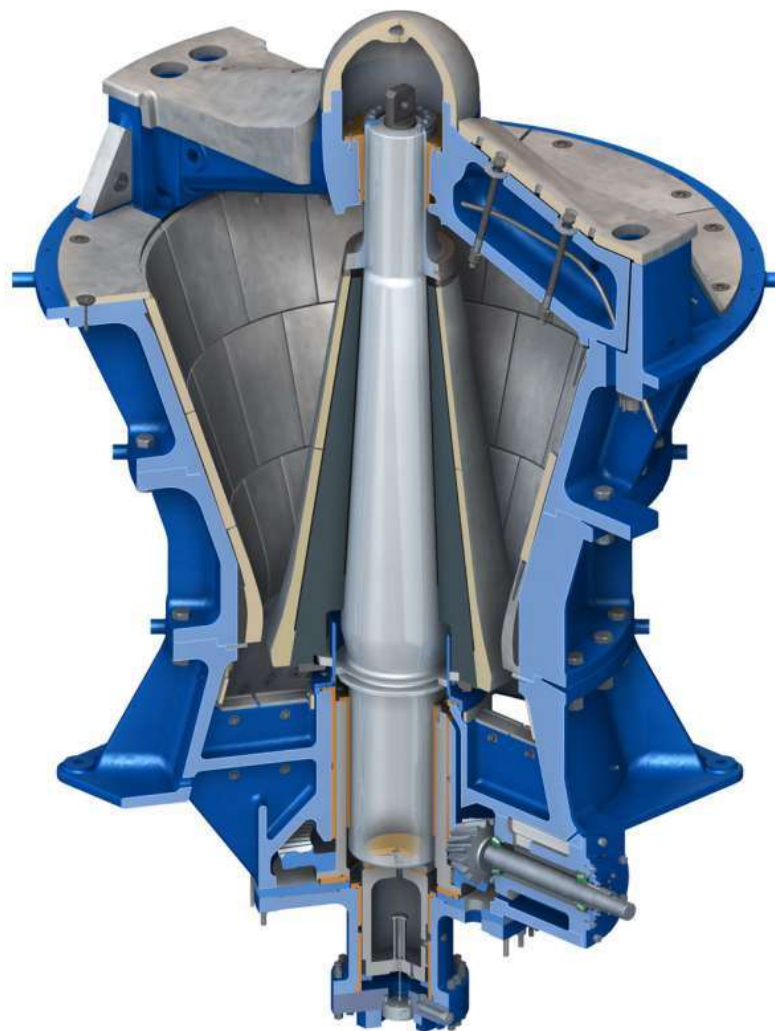
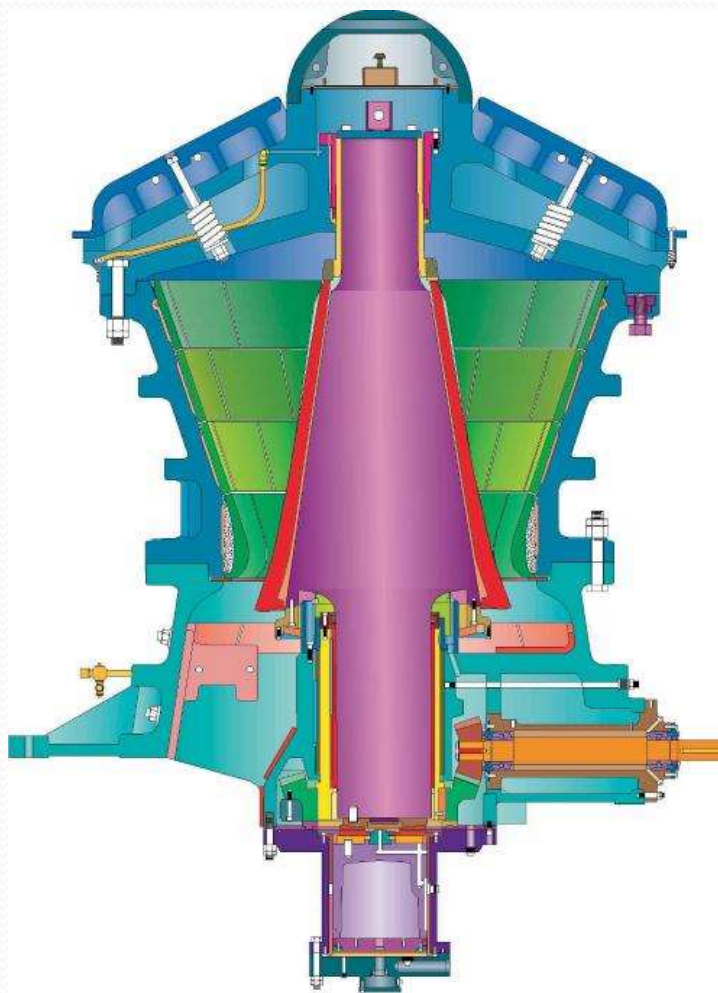
# BRITADOR DE MANDÍBULAS



# BRITADOR DE MANDÍBULAS



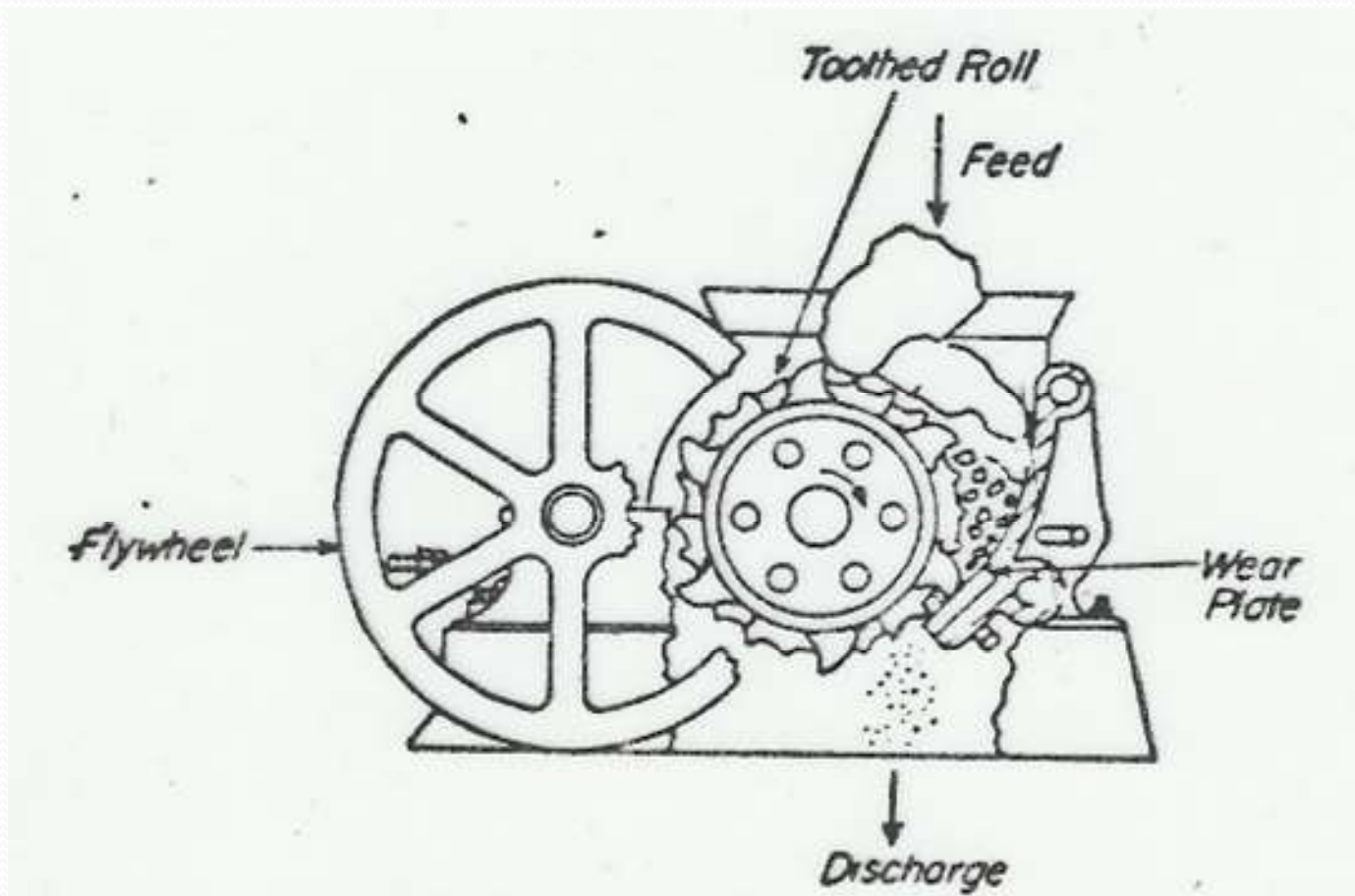
# BRITADOR GIRATÓRIO



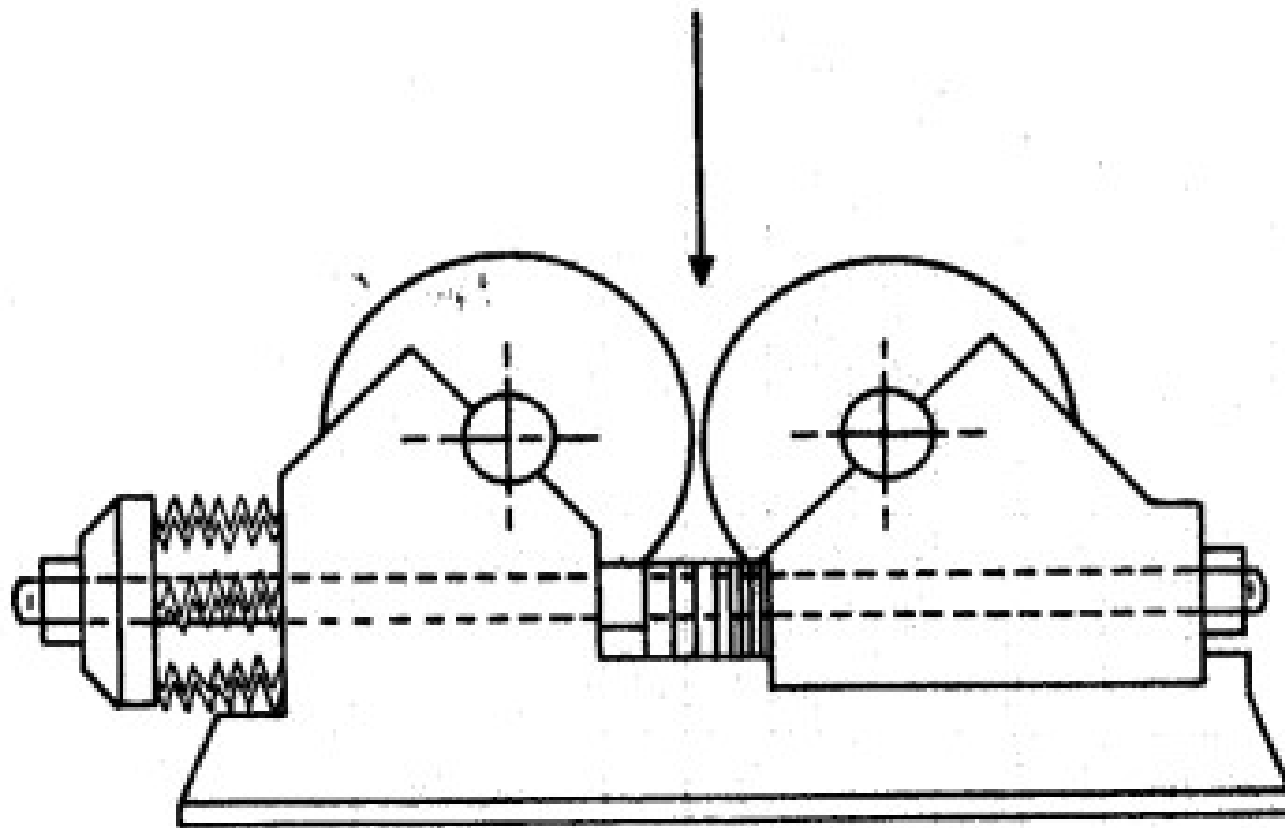
# BRITADOR GIRATÓRIO



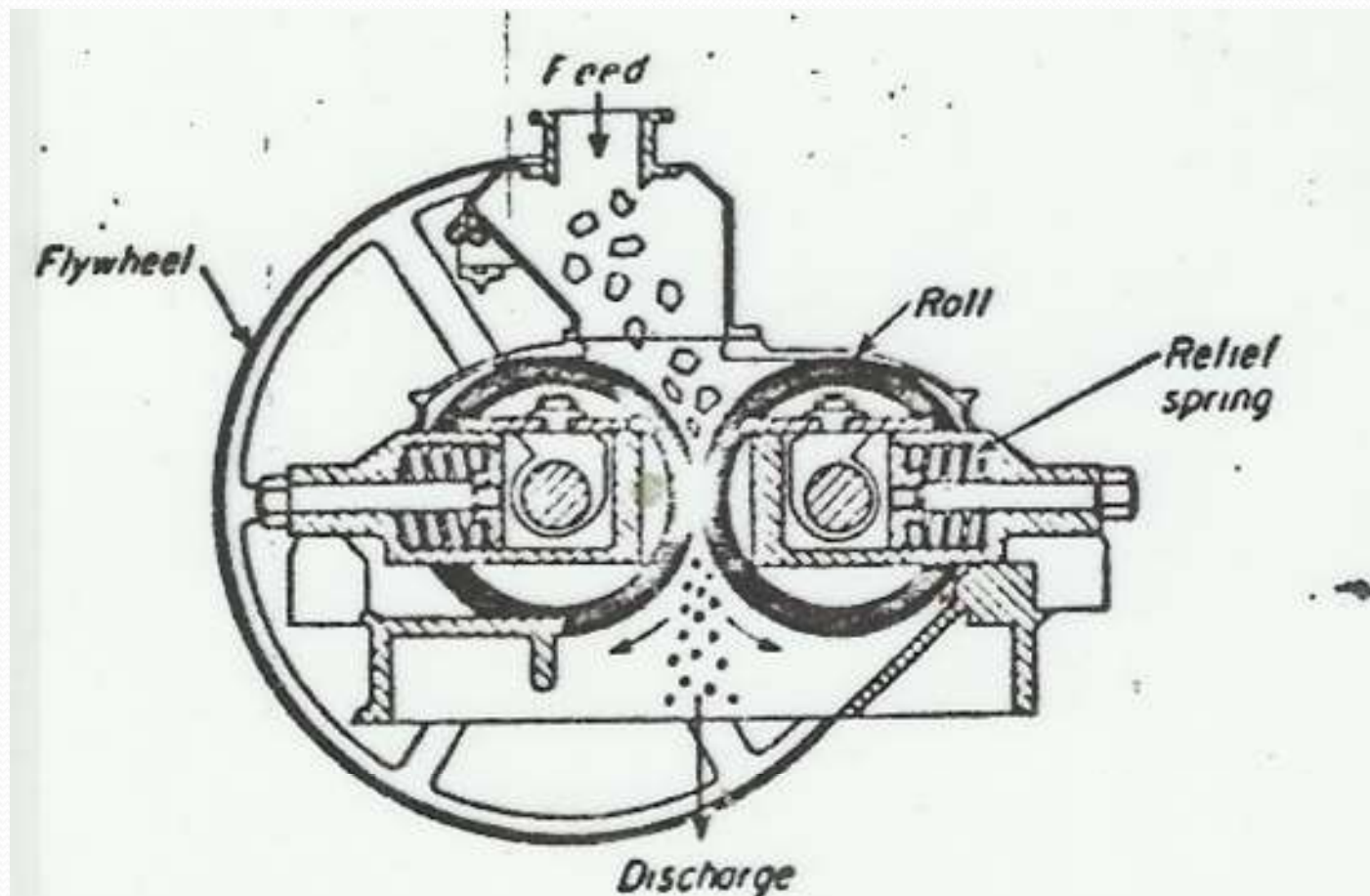
# BRITADOR DE ROLO DENTADO



# BRITADOR DE ROLOS



# BRITADOR DE ROLOS



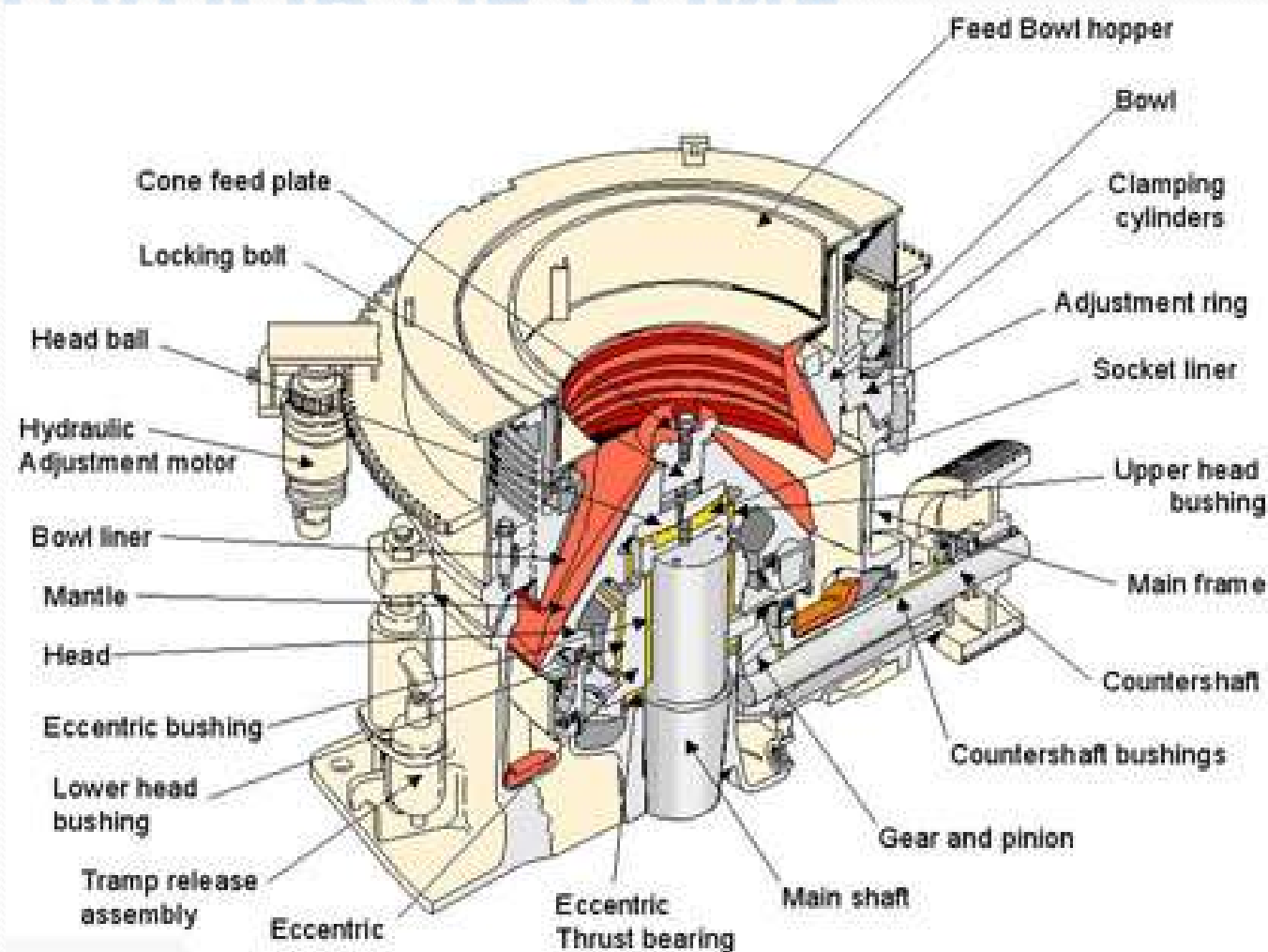
# BRITADOR DE ROLOS



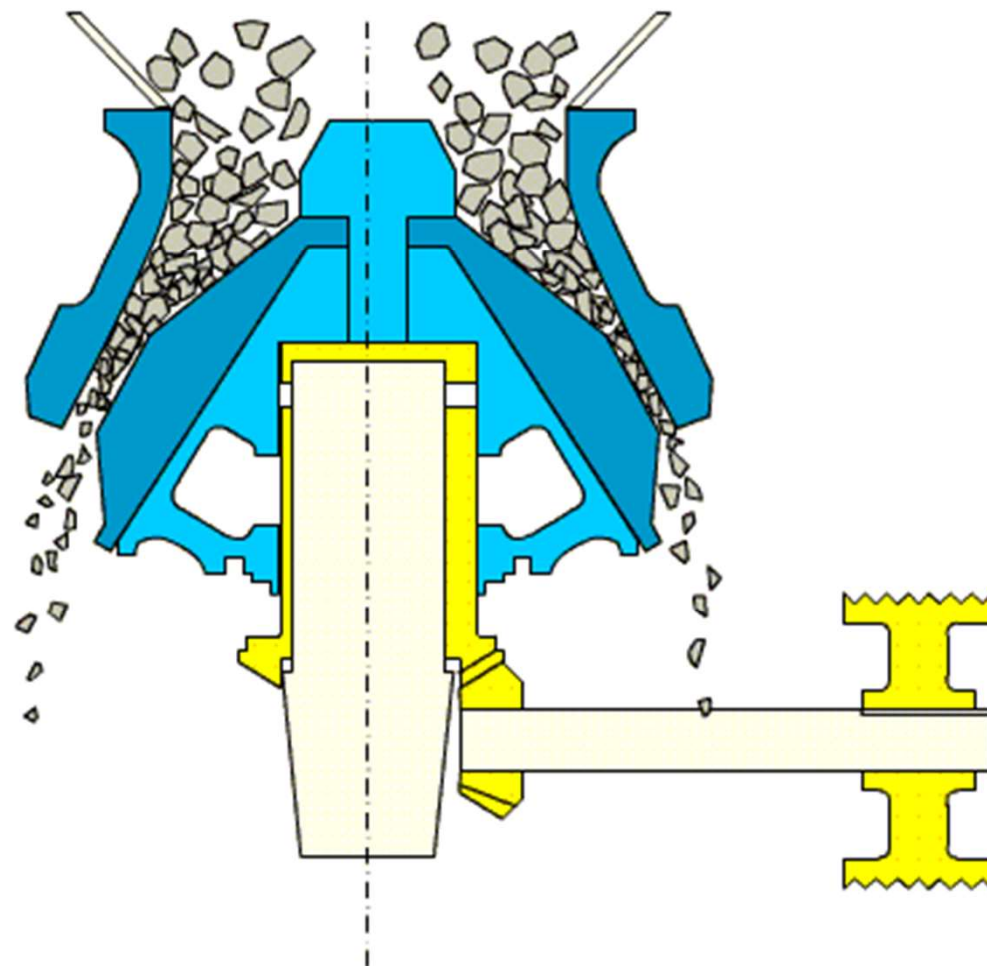
# BRITADOR DE ROLOS



# BRITADOR DE CONE



# BRITADOR DE CONE



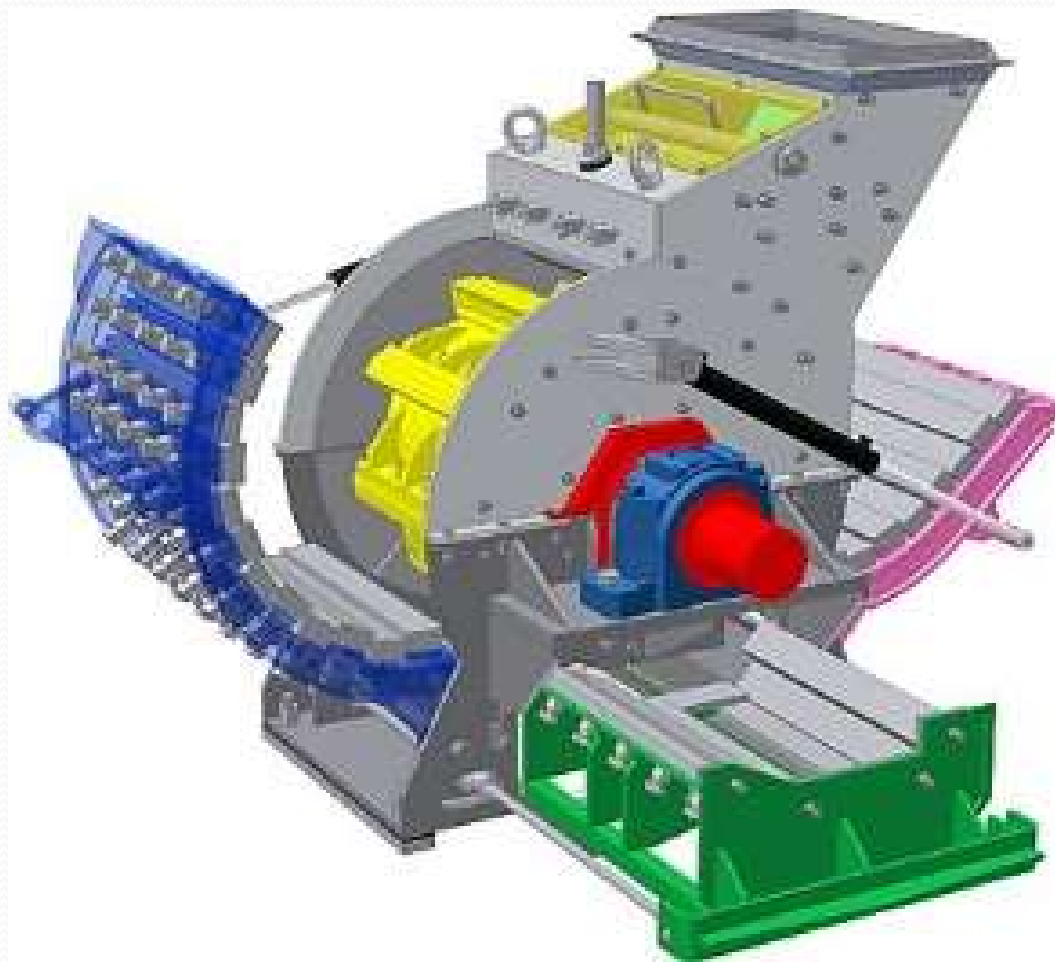
# MOINHOS

- **Moinho de martelos**
- **Moinho de impacto**
- **Moinho de discos**
- **Moinho de facas**
- **Moinho de compressão por rolos**
- **Moinho de atrito**
- **Moinhos giratórios: de bola e de hastes**

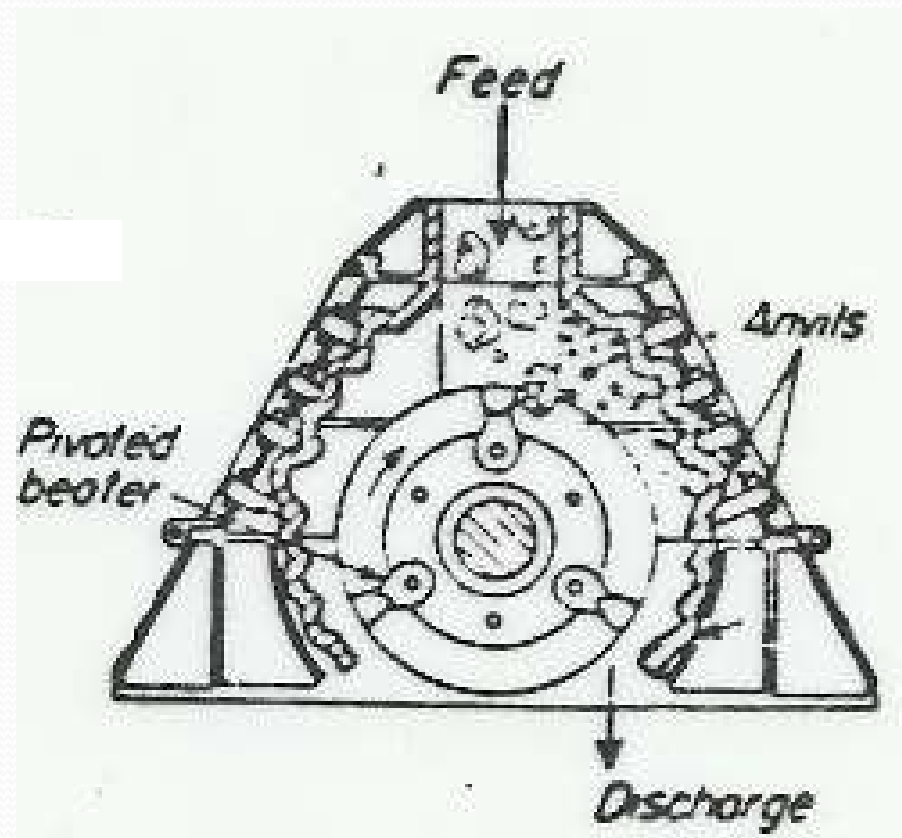
# MOINHO DE MARTELOS



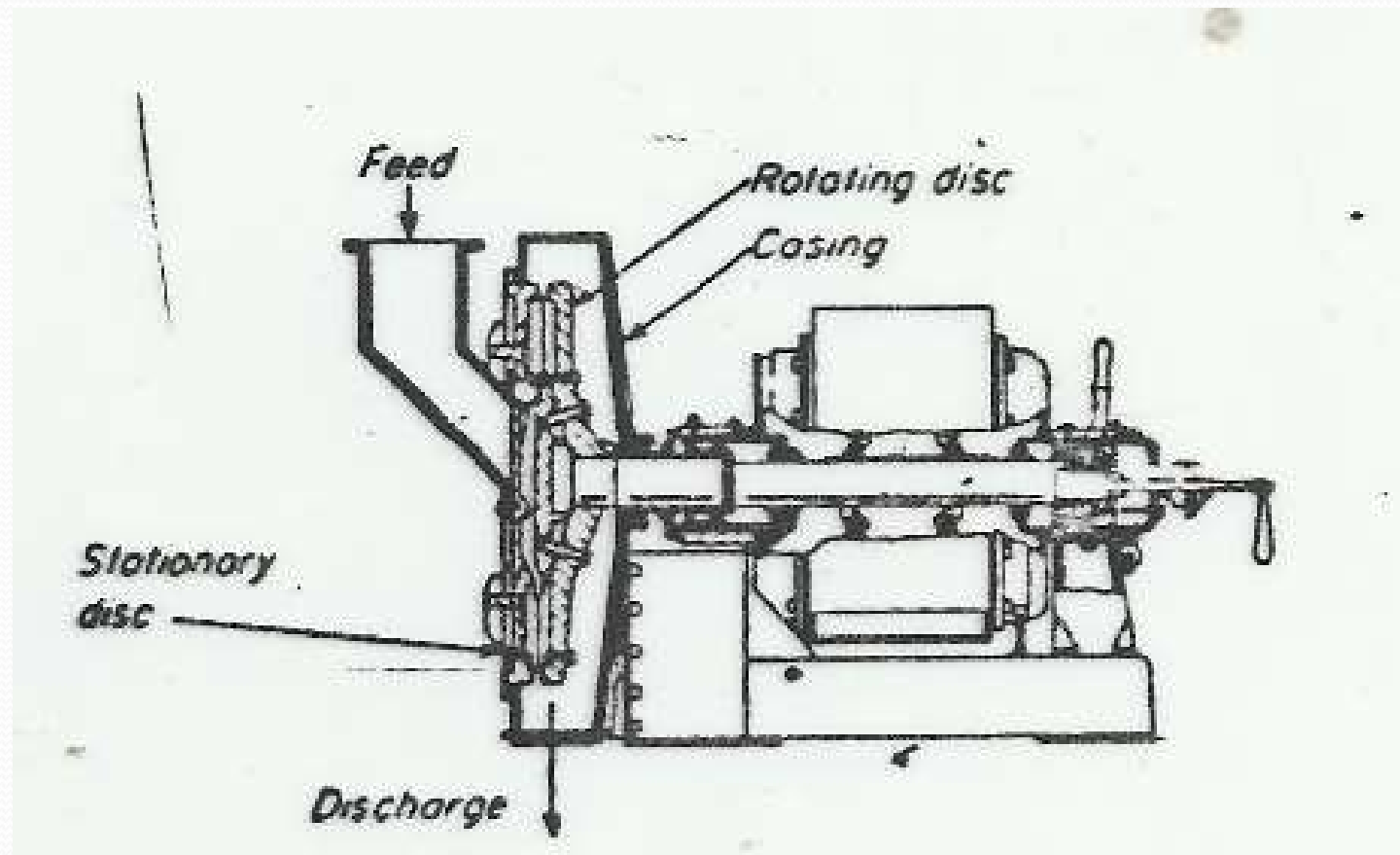
# MOINHO DE MARTELOS



# MOINHO DE IMPACTO



# MOINHO DE ATRITO (DISCOS)



# MOINHO DE DISCOS



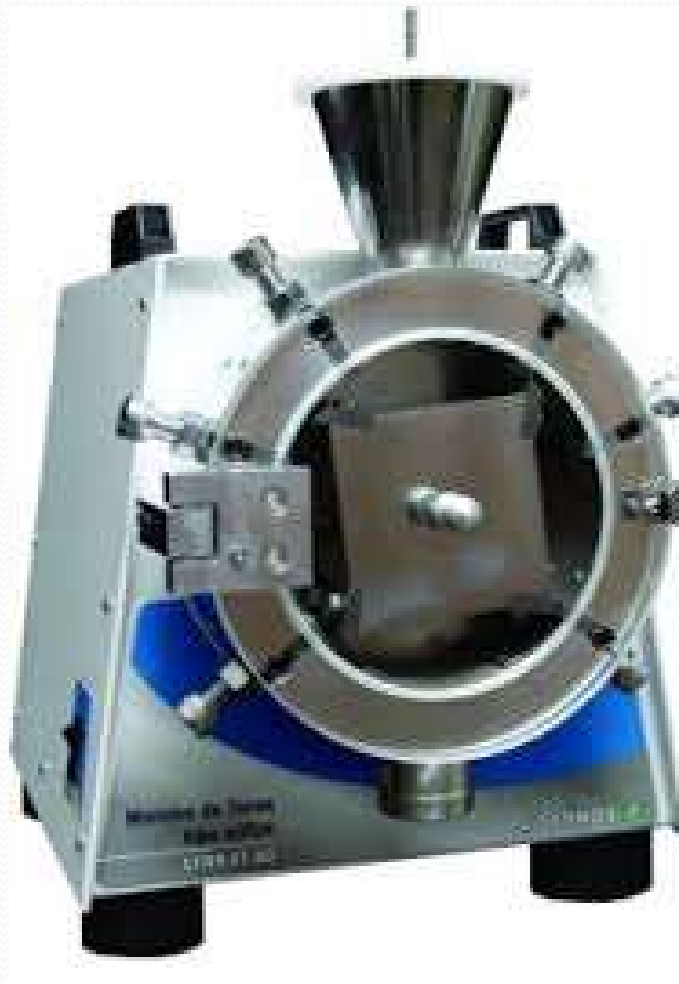
# MOINHO DE DISCOS



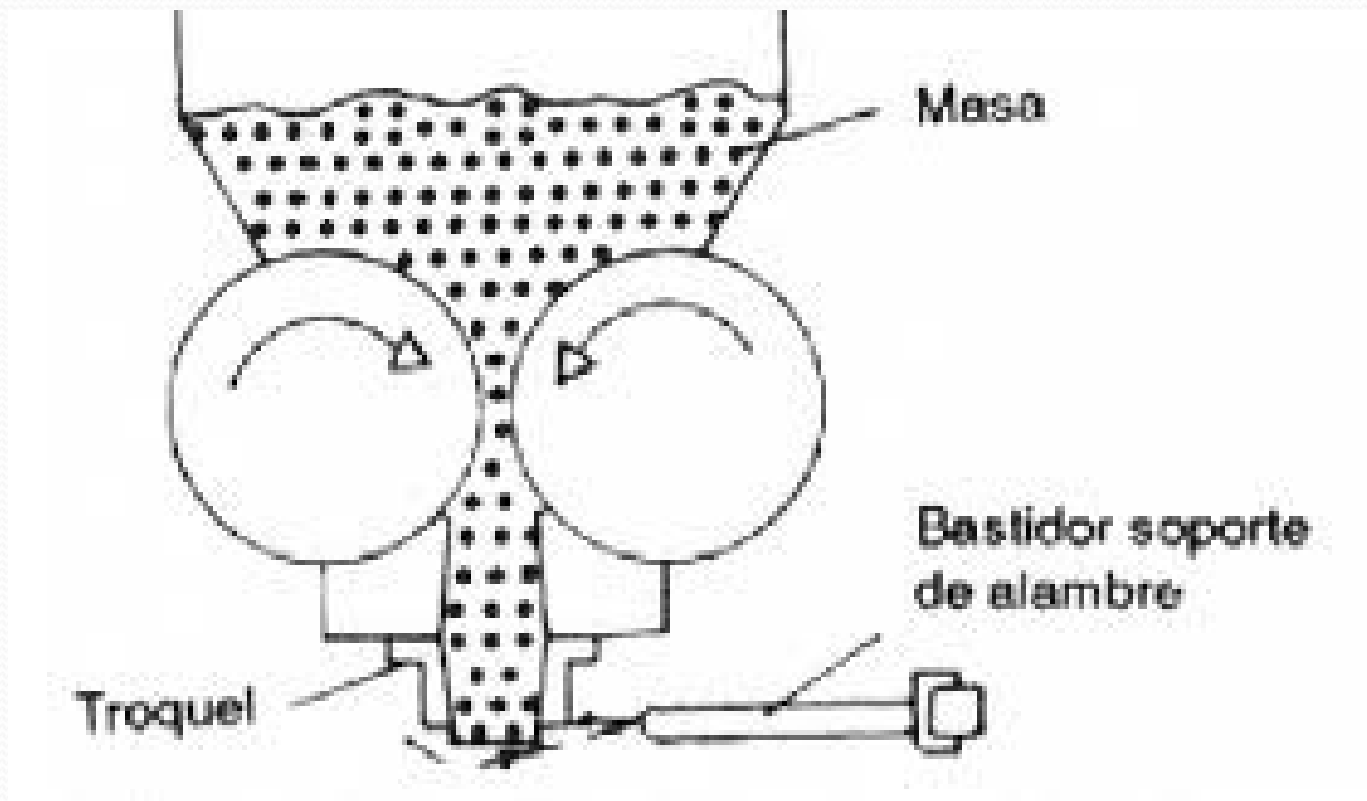
# MOINHO DE DISCOS



# MOINHO DE FACAS



# MOINHO DE COMPRESSÃO POR ROLOS



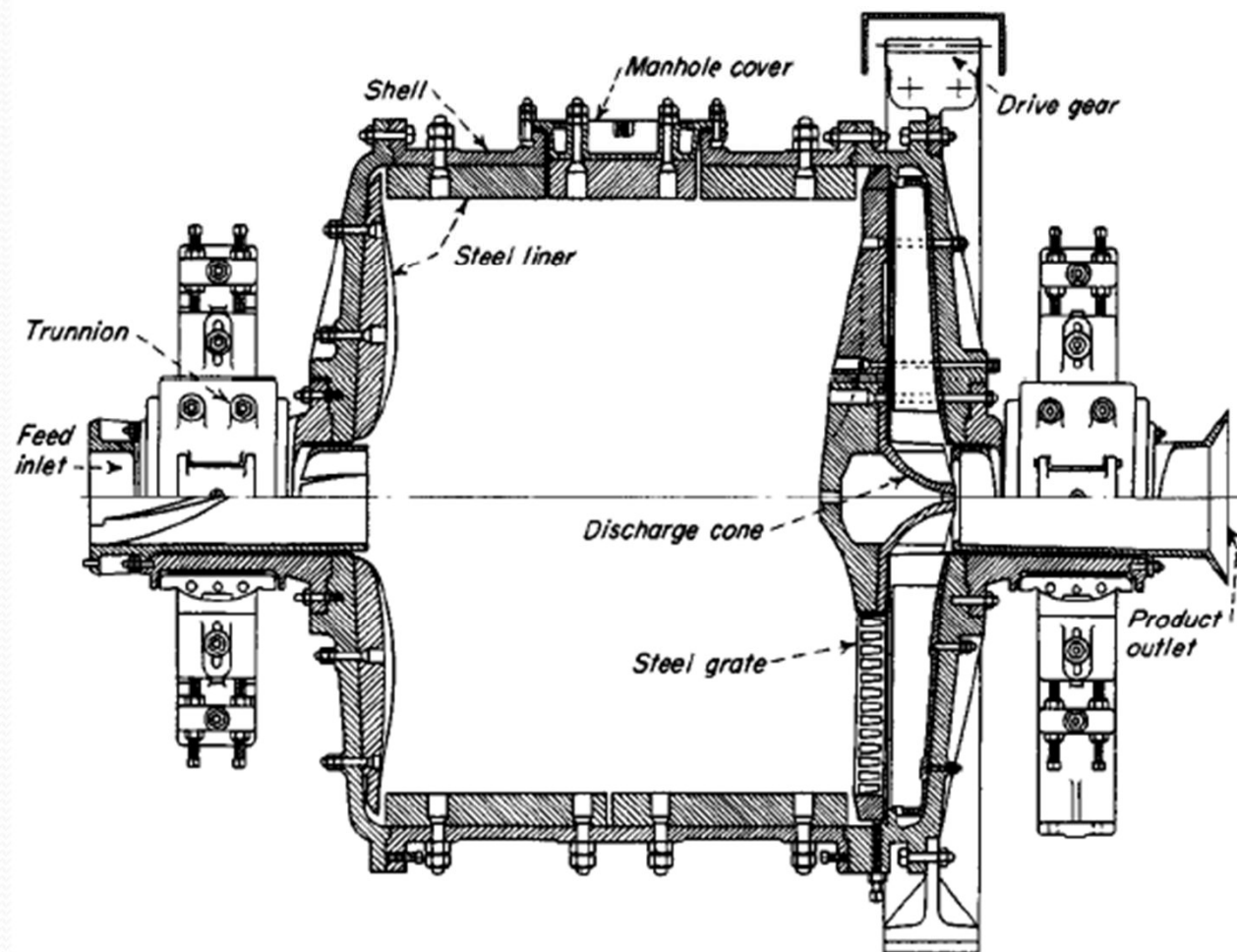
# MOINHO DE COMPRESSÃO POR ROLOS



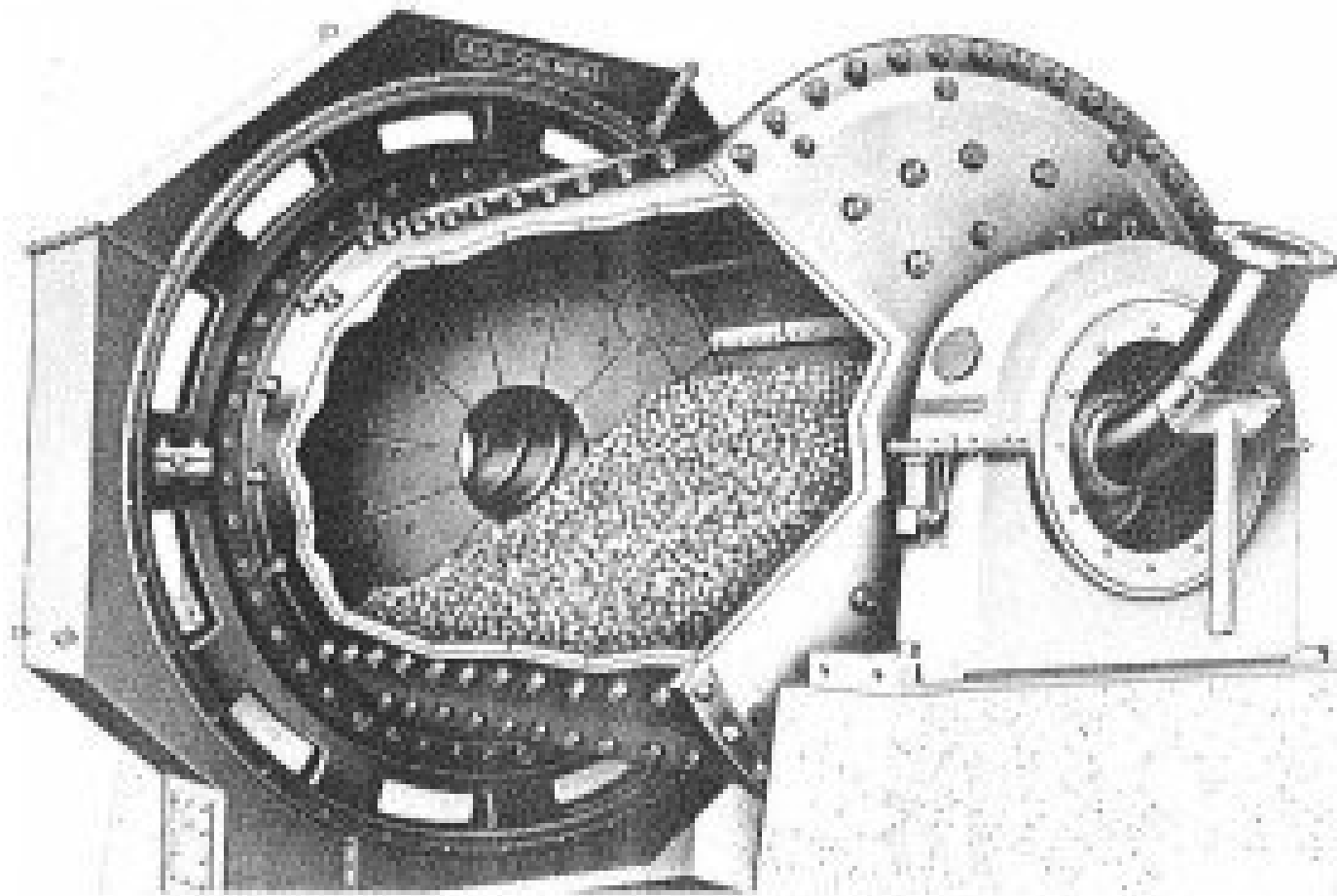
MonsterBrewingHardware.com



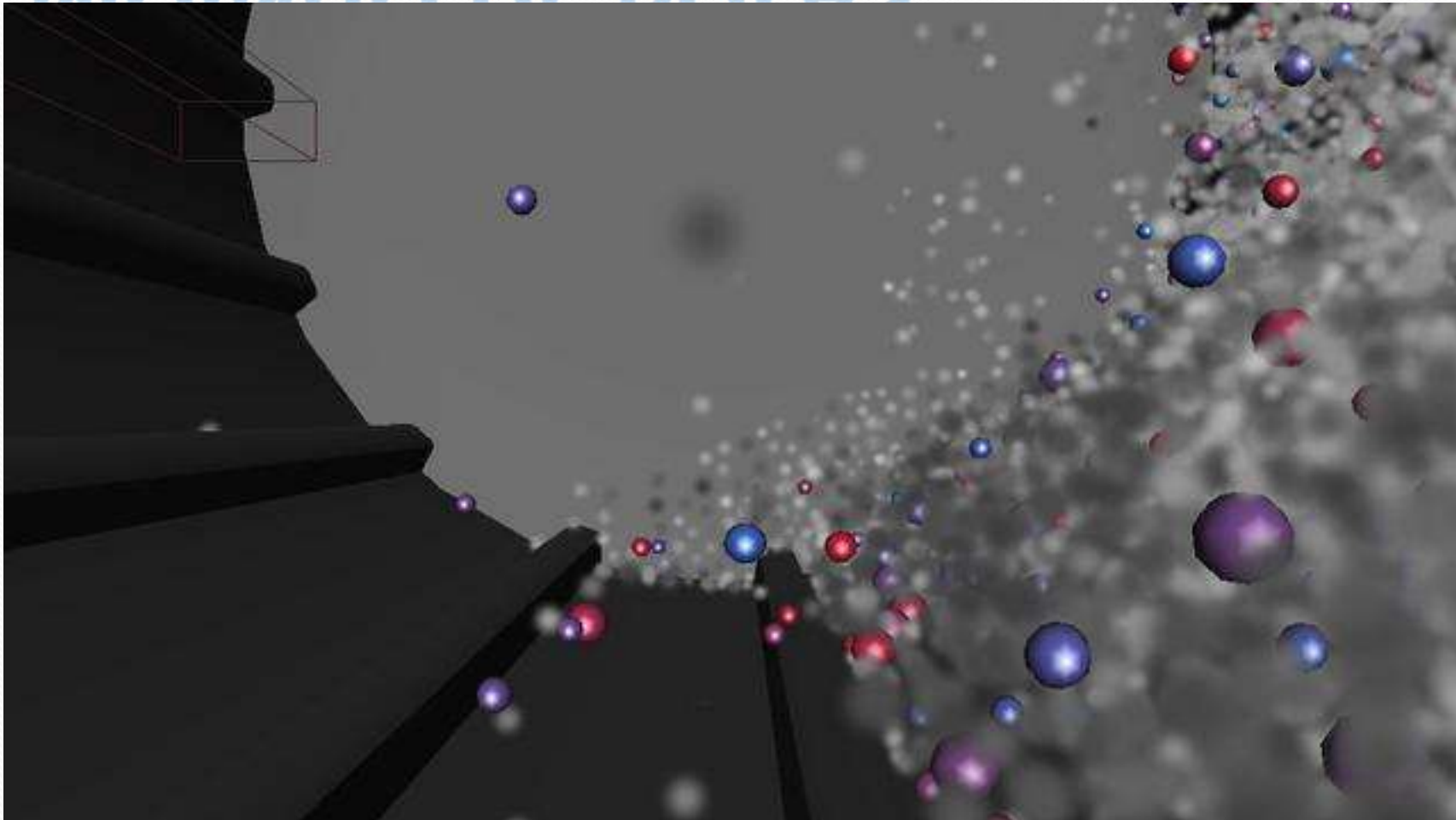
# MOINHO DE BOLAS



# MOINHO DE BOLAS



# MOINHO DE BOLAS



# MOINHO DE BOLAS

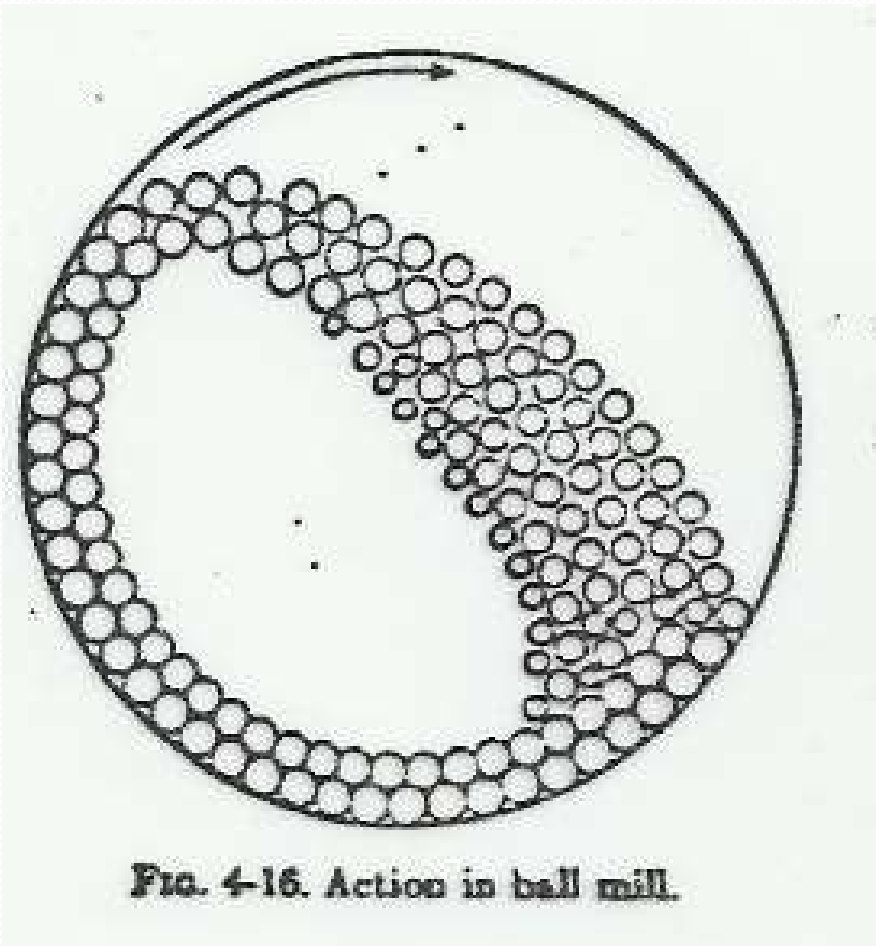


FIG. 4-16. Action in ball mill.

# MOINHO DE BOLAS



# MOINHO DE BOLAS



# MOINHO DE HASTES



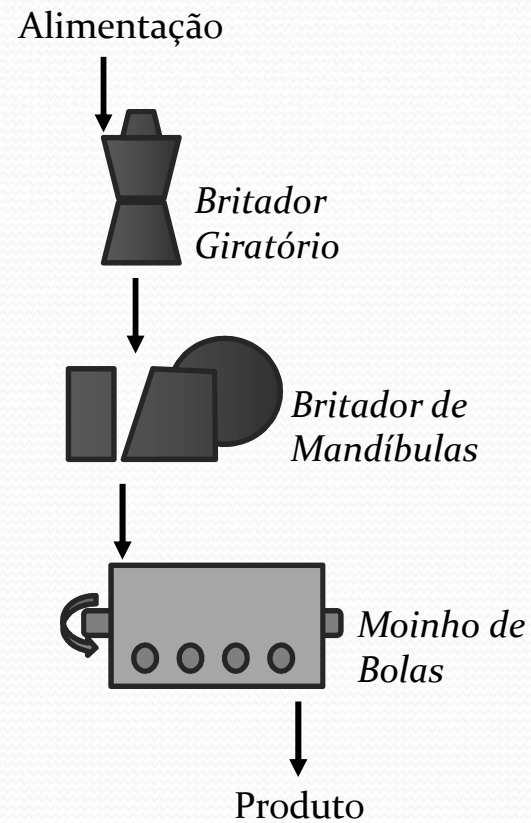
# MOINHO DE HASTES



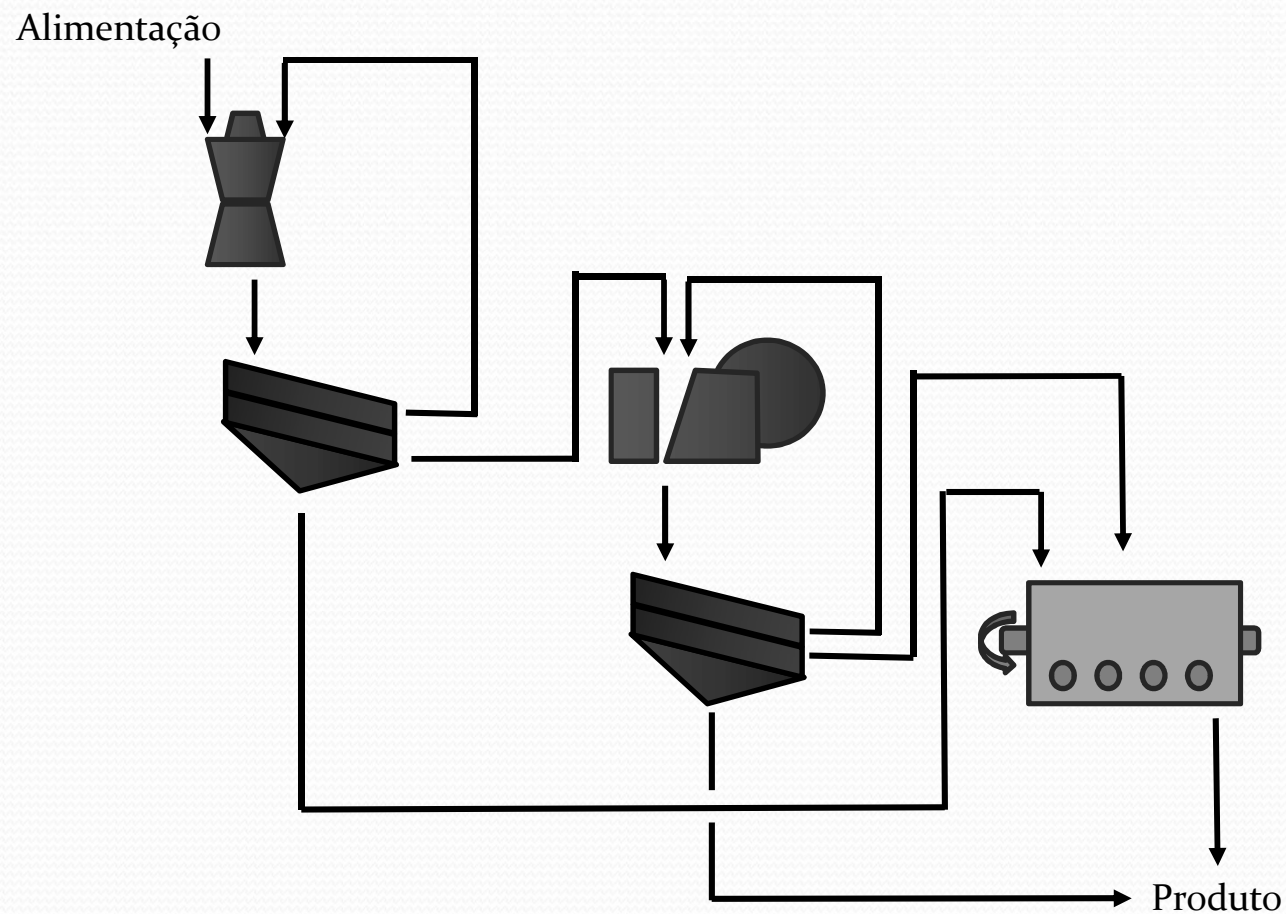
# CONDIÇÕES IDEAIS DE OPERAÇÃO NA REDUÇÃO DE TAMANHO

- Alimentação de tamanho adequado e com taxa uniforme
- Remoção de produto tão logo seja possível, após atingir o tamanho desejado
- Manter materiais inquebráveis fora da máquina
- Na redução de produtos de baixo ponto de fusão e sensíveis ao calor, deve ser removido o calor gerado no moinho

# OPERAÇÃO EM CIRCUITO ABERTO



# OPERAÇÃO EM CIRCUITO FECHADO



# **CARACTERÍSTICAS DO BRITADOR OU DO MOINHO IDEAL**

- **Grande capacidade**
- **Pequena potência por unidade de massa de produto**
- **Fornecer um produto de tamanho único ou na desejada distribuição de tamanho**

# LEI DE RITTINGER

$$\frac{P}{T} = K_r \left( \frac{1}{D_{VS_b}} - \frac{1}{D_{VS_a}} \right)$$

**$P$  ... Potência (HP)**

**$T$  ... Fluxo de alimentação (t/h)**

**$K_r$  ... Constante que depende do equipamento e do material**

**$D_{VS}$  ... Diâmetro médio volume-superfície**

**$a$  ... Alimentação**

**$b$  ... Produto**

# LEI DE RITTINGER

## EXEMPLO

Um britador recebe uma alimentação de rocha tendo um diâmetro médio volume-superfície de 0,75 in e descarrega um produto de diâmetro médio volume-superfície de 0,20 in. A potência requerida para britar 12 t/h de rocha é 9,3 HP. Qual será a potência necessária para britar 10 t/h de rocha fornecendo um diâmetro médio volume-superfície de 0,15 in?

# ÍNDICE DE TRABALHO

**É a energia total em kWh/t de alimentação necessária para reduzir a alimentação até que 80% passe por uma peneira de 100 microns**

# ÍNDICE DE TRABALHO

| ÍNDICE DE TRABALHO PARA MOAGEM |                              |
|--------------------------------|------------------------------|
| MATERIAL                       | ÍNDICE DE TRABALHO ( $w_i$ ) |
| Bauxita                        | 3,78                         |
| Clínquer de cimento            | 13,45                        |
| Matérias-primas de cimento     | 10,51                        |
| Argila                         | 6,30                         |
| Carvão                         | 13,00                        |
| Coque                          | 15,13                        |
| Granito                        | 15,13                        |
| Cascalho                       | 16,06                        |
| Gesso                          | 6,73                         |
| Hematita (minério de ferro)    | 12,84                        |
| Calcário                       | 12,74                        |
| Minério de fosfato             | 9,92                         |
| Quartzo                        | 13,57                        |
| Ardósia                        | 14,30                        |
| Basalto                        | 19,32                        |

# LEI DE BOND

**Índice de Trabalho ( $W_i$ )**

**É a energia total em kWh/t de alimentação necessária para reduzir a alimentação até que 80% passe por uma peneira de 100 microns**

# LEI DE BOND

$$\frac{P}{T} = 1,46 \cdot W_i \left( \frac{1}{\sqrt{Dp_b}} - \frac{1}{\sqrt{Dp_a}} \right)$$

**$P$  ... Potência (HP)**

**$T$  ... Fluxo de alimentação (t/min)**

**$W_i$  ... Índice de Trabalho (tabelado)**

**$D_p$  ... Diâmetro das partículas (abertura das peneiras), em ft**

**80% da alimentação passa pela abertura  $Dp_a$**

**80% do produto passa pela abertura  $Dp_b$**

# LEI DE BOND

**Outra forma:**

$$W_i = W \sqrt{\frac{P}{100}} \left( \frac{\sqrt{R}}{\sqrt{R} - 1} \right)$$

**$W$  ... Energia/massa (kWh/ton)**

**$R = F/p$  ... Taxa de redução**

**$F$  ... Abertura da peneira que passa 80% da alimentação (microns)**

**$P$  ... Abertura da peneira que passa 80% do produto (microns)**

# LEI DE BOND

| GUIA PARA SELEÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE REDUÇÃO DE TAMANHO |                    |              |              |             |                |                  |
|---------------------------------------------------------|--------------------|--------------|--------------|-------------|----------------|------------------|
| OPERAÇÃO DE REDUÇÃO                                     | DUREZA DO MATERIAL | TAMANHO (in) |              |             |                | RAZÃO DE REDUÇÃO |
|                                                         |                    | ALIMENTAÇÃO  |              | PRODUTO     |                |                  |
|                                                         |                    | Máx.         | Min.         | Máx.        | Mín.           |                  |
| BRITAGEM                                                | Duro               | 60           | 12           | 20          | 4              | 3                |
|                                                         | Duro               | 20           | 4            | 5           | 1              | 4                |
|                                                         | Duro               | 5            | 1            | 1           | 0,2            | 5                |
|                                                         | Duro               | 1,5          | 0,25         | 0,185       | 0,033          | 7                |
|                                                         | Mole               | 20           | 4            | 2           | 0,4            | 10               |
| MOAGEM                                                  |                    |              |              |             |                |                  |
| Pulverização Grossa                                     | Duro               | 0,185 (4)    | 0,033 (20)   | 0,023 (28)  | 0,003 (200)    | 10               |
| Fina                                                    | Duro               | 0,046 (14)   | 0,0058 (100) | 0,003 (200) | 0,00039 (1250) | 15               |
| Desintegração Grossa Fina                               | Mole               | 0,5          | 0,065        | 0,023       | 0,003          | 20               |
|                                                         | Mole               | 0,156 (5)    | 0,0195 (32)  | 0,003 (200) | 0,00039 (1250) | 50               |