

OPERAÇÃO DE REDUÇÃO DE TAMANHO DOS ALIMENTOS

INTRODUÇÃO

O termo redução de tamanho se aplica nos alimentos onde há necessidade de cortar ou romper em tamanhos pequenos para a elaboração do produto final. Nos processos industriais a redução de tamanho dos sólidos é realizada para atender distintos métodos de processo e com finalidades diferentes. A redução dos produtos em partículas menores aumenta também a reatividade dos sólidos, permite a separação por métodos mecânicos de ingredientes reduzindo o tamanho de um material fibroso para ser mais facilmente tratado durante o seu processamento.

As vantagens da redução de tamanho no processamento dos alimentos são:

- Aumento da relação superfície /volume, aumentando, com isso, a eficiência de operações posteriores, como extração, aquecimento, resfriamento, desidratação, etc.

- Uniformidade do tamanho das partículas do produto, auxiliando na homogeneização de produtos em pó ou na solubilização dos mesmos (exemplo: sopas desidratadas, preparados para bolos, achocolatados, etc.).

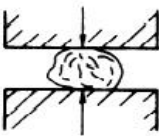
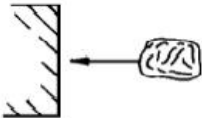
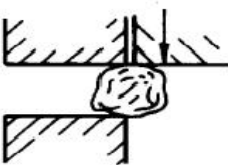

A moagem é uma operação unitária frequentemente utilizada com grãos, para reduzi-los a farinha em pó.

Em cereais, implica na eliminação do pericarpo, das cascas da semente, da epiderme nuclear. Geralmente se elimina o gérmen por ser relativamente rico em óleo, o qual provoca o ranço do cereal, diminuindo a sua qualidade.

A trituração ou moagem pode ser considerada muito ineficaz do ponto de vista energético. Somente uma pequena parte da energia é empregada realmente para a ruptura ou fragmentação do sólido. A maior parte se dirige para a deformação desse sólido e a criação de novas linhas de sensibilidade que pode produzir a ruptura sucessiva dos fragmentos. O resto da energia se dissipa em forma de calor.

As principais forças que atuam no processo de redução de tamanho e o tipo de moinho utilizado, é mostrado no quadro-1.

Quadro-1: Forças atuante na operação de redução de tamanho dos Alimentos

Força	Sistema de Operação	Tipo de Equipamento
Compressão		Moinho de Rolos
Impacto		Moinho de Martelo
Atrito		Moinho de Disco de Atrito
Corte		Moinho de Facas Rotativas

FORMAS DA OPERAÇÃO DE MOAGEM

a) **Descontínua:** carrega-se o equipamento e procede-se a moagem. Após o término da operação (tempo), para-se o equipamento e realiza-se a descarga do mesmo.

b) **Contínua:** o carregamento e a retirada do produto são realizados com o equipamento em operação. Neste tipo de operação tem-se ainda:

b.1) **Circuito aberto:** o material é alimentado ao equipamento e passa uma única vez pela máquina, sendo retirado do circuito após a moagem.

b.2) **Circuito fechado:** o produto bruto passa por uma separação; os grãos finos constituem o produto os grãos grossos retornam ao equipamento para outra moagem. Neste tipo de operação o custo inicial é mais elevado, mas o consumo de energia por tonelada de produto é menor e evita-se a produção de quantidade exagerada de finos, minimizando a poluição e a perda de material processado.

CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS EQUIPAMENTOS

Além dos detalhes construtivos específicos de cada tipo de operação, todo equipamento deve apresentar as seguintes características:

a) Permitir o afastamento rápido do sólido fragmentado da superfície de trabalho. Os finos que se produz na moagem, se permanecerem junto a superfície de trabalho

funcionam como amortecedores do contato com as novas partículas a serem moídas. A descarga rápida do material moído pode ser feita por meio de água, ar comprimido e por força centrífuga.

b) Segurança: os britadores podem expelir partículas com grande energia durante a operação e, também, os moinhos podem provocar a queima ou explosão do material em decorrência do aquecimento excessivo ou acúmulo de pó fino durante a moagem. Somente uma operação bem conduzida poderá evitar estes problemas.

PRINCÍPIOS DA TEORIA DA REDUÇÃO DE TAMANHO

As leis que regem estes princípios são baseadas nas leis de *RITTIGER*, *KICK* e *BOND*.

A quebra de um material cria um novo tamanho (X).

Supõe-se que a energia necessária (E) para produzir uma modificação dX em uma partícula de tamanho X é uma função de X elevado a uma certa potência n .

$$\frac{dE}{dX} = \frac{C}{X^n} \quad (1)$$

Onde X é o diâmetro característico da partícula, n e C são constantes que dependem do tipo de material e do tipo de equipamento de redução de tamanho. Integrando a equação (1) vem:

$$\int_0^E dE = -C \int_{X_1}^{X_2} \frac{dX}{X^n}$$

$$\text{Obtemos a equação de modo geral: } E = \frac{C}{n-1} \left[\frac{1}{X_2^{n-1}} - \frac{1}{X_1^{n-1}} \right] \quad (2)$$

Onde:

X_1 é o diâmetro médio da matéria-prima

X_2 é o diâmetro médio do produto.

KICK assume devido a observações experimentais que $n = 1$, portanto:

$$dE = -C \frac{dX}{X} \quad \int dE = -C \int \frac{dX}{X}$$

$$E = C \ln \frac{X_1}{X_2} = K_k \log \frac{X_1}{X_2} \quad (3)$$

Onde K_k é uma constante

Esta lei mostra que o mesmo montante de energia deve reduzir um material de 100 mm a 50 mm como para reduzir o mesmo material de 50 mm a 25 mm

RITTINGER propôs uma lei na qual o trabalho é proporcional à superfície criada e como a área é proporcional ao quadrado do comprimento, um valor de $n = 2$.

$$\frac{dE}{dX} = -\frac{C}{X^n} \rightarrow E = \frac{C}{n-1} \left[\frac{1}{X_2^{n-1}} - \frac{1}{X_1^{n-1}} \right]$$

Então para $n = 2$ vamos obter a equação de Rittinger: $E = K_R \left(\frac{1}{X_2} - \frac{1}{X_1} \right)$ (4)

Onde E é o trabalho para reduzir uma massa que tem o tamanho X_1 para o tamanho X_2 . K_R é uma constante.

BOND sugerem que o trabalho necessário para moer partículas de tamanho grande é proporcional à raiz quadrada da razão de volume superficial do produto. Isto corresponde a $n = 1,5$ na equação (1), portanto:

$$\int dE = -C \int \frac{dX}{X^{3/2}} \rightarrow E = K_B \frac{1}{\sqrt{X_2}} - \frac{1}{\sqrt{X_1}} \quad (5)$$

Onde K_B é uma constante.

PRINCIPAIS TIPOS DE MOINHO UTILIZADO NO PROCESSO DE ALIMENTOS

Dependendo do tipo de produto final processado, a operação requer um tipo específico de moagem (produtos com tamanho reduzido dos ingredientes, produtos em pó, produtos em forma de emulsão, etc.). Os modelos de moinhos mais utilizados no processamento de alimentos são:

1. *Moinho de Martelos*
2. *Moinho de Rolos*
3. *Moinhos de Discos de atrito*
4. *Moinho de Bolas*
5. *Moinho Coloidal*
6. *Moinho de Facas*
7. *Moinho Dispersor*

1. MOINHO DE MARTELOS

Os moinhos de martelo são usados para reduzir o material de tamanho entre intermediário a pequeno. Este tipo de moinho é utilizado para fragmentar materiais frágeis não abrasivos. Utiliza-se igualmente para materiais fribosos, como milho, soja e café, pois uma parte da ação de fragmentação é por corte. Também é muito utilizado para trituração de legumes e frutas, que irá posteriormente ser extraído o seu suco através de peneiras. Neste tipo de moinho, um rotor montado em um cilindro horizontal gira em alta velocidade promovendo a trituração do material. Os martelos podem ser fixo ou móvel, isto é, balançam dentro do cilindro.

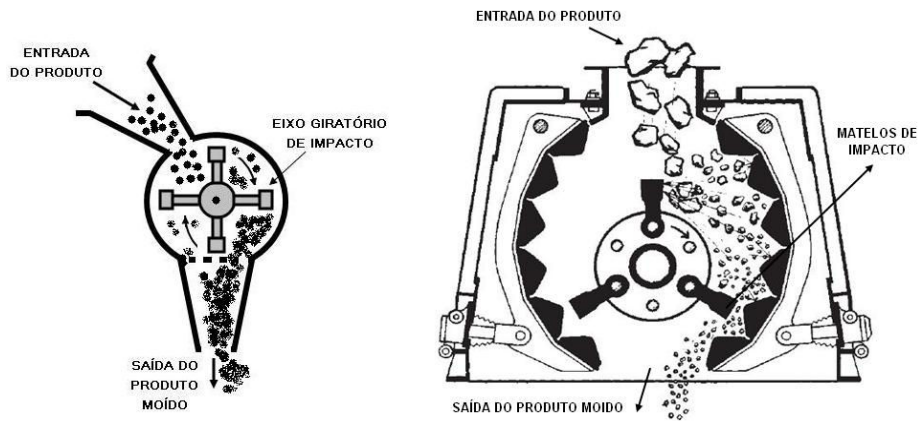


Figura-1: Moinhos de Martelo

2. MOINHO DE ROLOS

Os moinhos de rolos giram em direções opostas e a velocidades diferentes. Sua superfície sofre muito desgaste. Também existem os moinhos de rolos únicos giram contra uma superfície fixa. São utilizados geralmente para sementes tipo mostarda, torta de cacau, amendoim, etc.

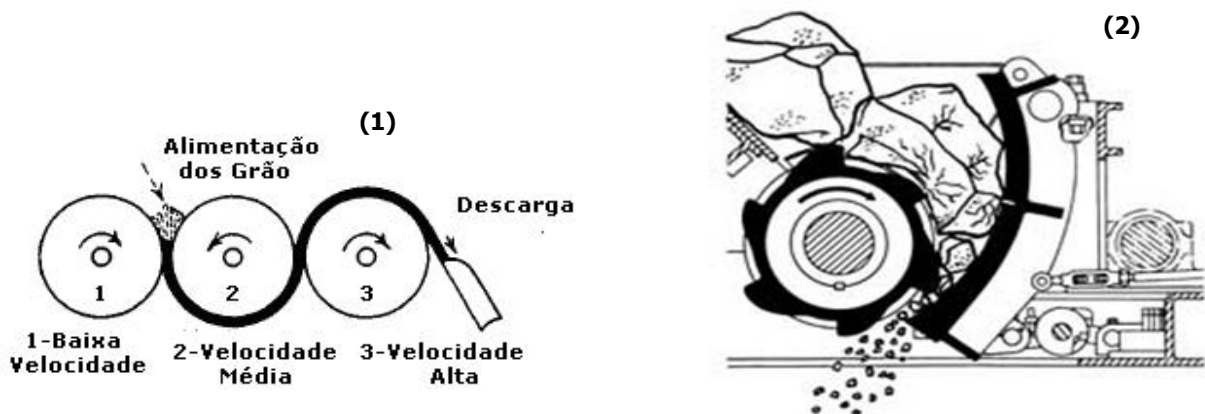


Figura-2: Moinhos de Rolos: (1)-Rolos Triplo, (2)-Rolo Único

3. MOINHO DE DISCOS DE ATRITO

Os moinhos de disco de atrito dependendo o tipo de alimento podem ser de disco simples ou disco duplo. No moinho de disco simples é formado por um disco giratório que gira comprimindo o alimento em um disco estacionário. O alimento é introduzido através do centro do disco estacionário e encontra o disco giratório que é provido de ranhuras, ocorrendo a trituração do mesmo.

O moinho de disco duplo possui dois discos giratórios dotado de ranhuras para a execução do trabalho de trituração do alimento, forçando o alimento moído atravessar uma tela perfurada na saída do moinho (figura-3).

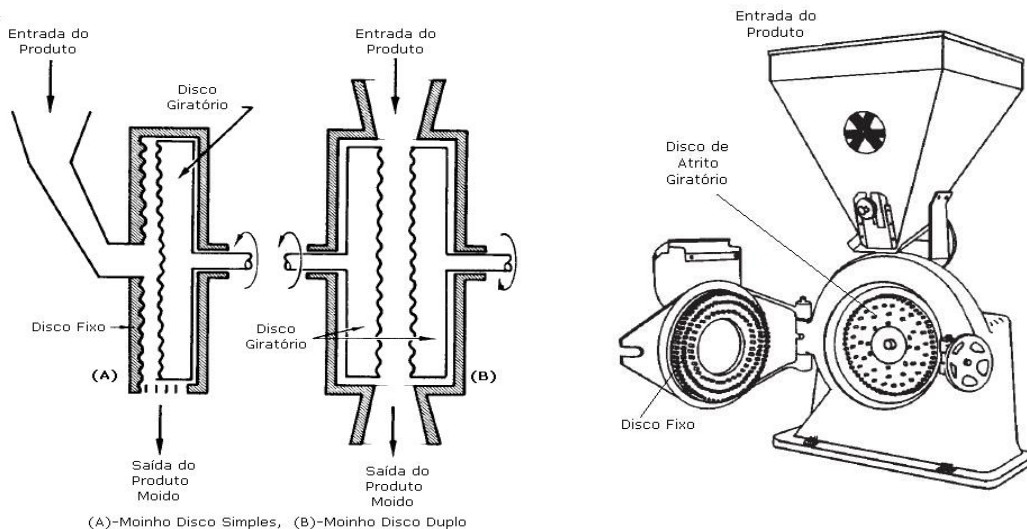


Figura-3: Moinho de Disco de Atrito

Moinhos de disco são especialmente utilizados para alimentos fibrosos como, milho, arroz, castanha de cacau.

4. MOINHO DE BOLAS

Na sua forma mais simples consiste em um tambor cilíndrico rotativo com dimensões regulares, que, em funcionamento é preenchido parcialmente com bolas. O material a moer é alimentado no tambor, junto com as bolas, e à medida que ele gira, as bolas caem sobre o material, promovendo a fragmentação.

O moinho de bolas é muito eficaz para moagem fina de pós tais como: moagem fina de cobertura de chocolate e polpa de cacau, nozes, castanha, amendoim, amêndoas, etc. O efeito da moagem se realiza no espaço entre o recipiente de trabalho cônico o estator e um rotor cônico. O movimento do rotor provoca o movimento radial do alimento (esferas). O movimento é aumentado progressivamente à medida que avança no moinho, de modo que o esforço constante aplicado ao alimento moído aumenta constantemente durante a operação de moagem. O tamanho médio final das partículas moídas depende da dureza do material a moer e do tempo de moagem (figura-4).

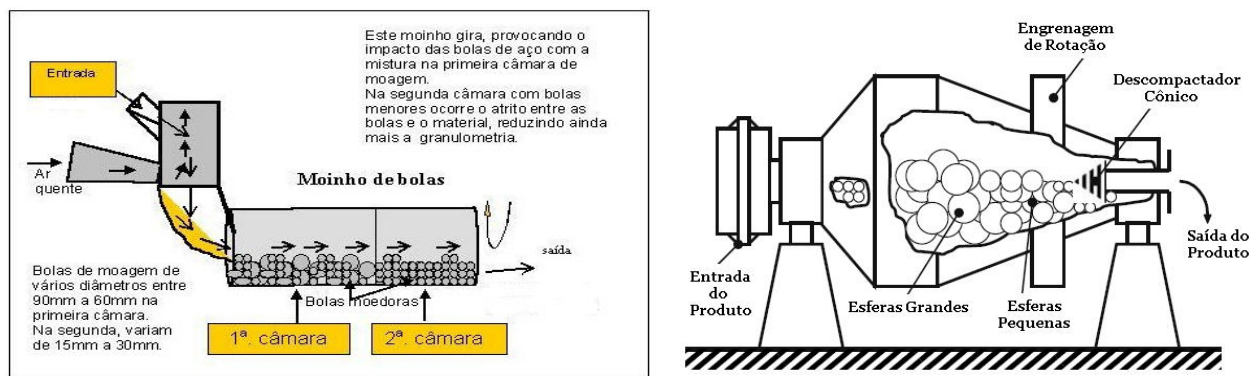


Figura-4: Moinho Horizontal de Bolas

Velocidade crítica de rotação do moinho é a força centrífuga desenvolvida que mantém as bolas encostadas na parede do moinho sem cair, impossibilitando a moagem.

A moagem pode ser feita em circuitos abertos ou fechados. Na moagem em circuito aberto, o material passa uma só vez pelo moinho, pois já atinge a especificação de granulometria desejada. A moagem em circuito fechado existe um classificador que separa as partículas mais finas das mais grossas que o tamanho final desejado. As mais grossas retornam ao moinho para sofrer nova moagem, enquanto as mais finas são separadas através de sistema pneumático acoplado a um ciclone. A moagem em circuito fechado consegue tamanhos mais finos que o aberto, em virtude do controle de granulometria ser mais rígido.

5. MOINHO COLOIDAL

A aplicação principal do moinho coloidal é a trituração de produtos em suspensão, emulsões extremamente viscosas (margarina, maionese).

No moinho coloidal, os ingredientes da mistura são forçados a passar através de uma válvula com ranhuras muito estreita. Esta válvula é composta de uma parte fixa e outra giratória que é o rotor (figura-5), e ocorre a dispersão em toda a mistura.

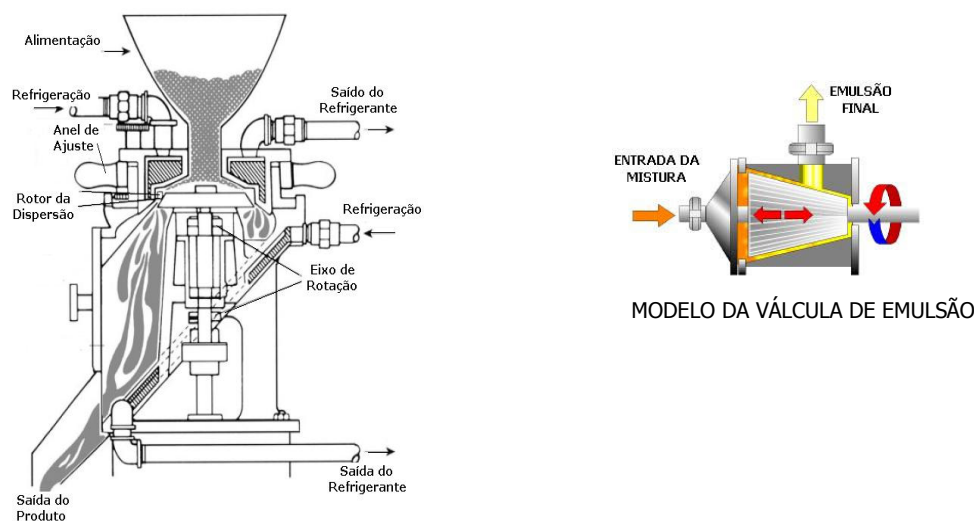


Figura-5: Esquema de Moinho Coloidal

O intervalo entre o estator e o rotor é ajustável, conforme a necessidade do processo em relação a dispersão (emulsão) desejada do produto final.

6. MOINHO DE FACAS

O moinho de facas é utilizado especificamente para operação de redução de tamanho em formas de cubos, fatias e tiras dos alimentos. Os equipamentos utilizados para esta operação são chamados de cubeteadoras e, possui uma série de facas circulares, em forma de ele "L" e serrilhadas, que dão a forma desejada ao produto final (figura-6). Este tipo de equipamento é bastante utilizado para queijos, e legumes em geral.

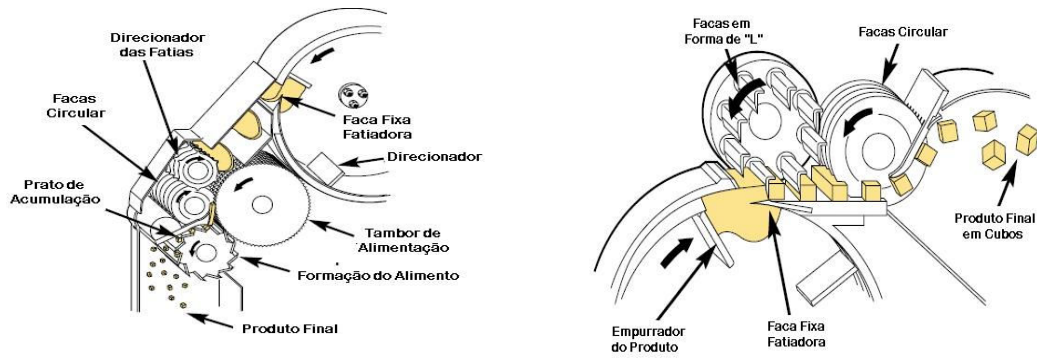


Figura-6: Modelos de moinhos de facas (URSHEL)

7. MOINHO DISPERSOR

Dispensores são moinhos especiais utilizados para a redução da mistura, em fragmentos muito pequenos fazendo com que os mesmos fiquem em suspensão. Os moinhos dispersores promovem a homogeneização de misturas pastosas, deixando um aspecto cremoso ao produto. Este tipo de moinho efetua o cisalhamento dos sólidos quebrando-os em partículas extremamente minúsculas. A figura-7 mostra um modelo de dispersores e o movimento por ele executado.



Figura-7: Modelos de moinho dispersor

É uma unidade de mistura e dispersão para a produção de produtos líquidos e semi-sólidos com uma variedade de viscosidade. Se adapta especialmente aos produtos mais viscosos e àqueles com uma alta proporção de ingredientes sólidos (misturas para tortas, queijos derretidos, pasta de amendoim, xaropes, geléias). A figura-8 mostra o princípio de funcionamento de um dispersor.

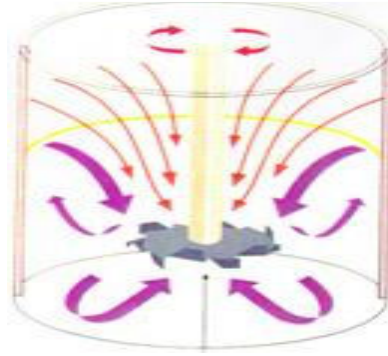


Figura-8: Esquema de funcionamento de um moinho dispersor

OPERAÇÃO COMBINADA DE CLASSIFICAÇÃO E MOAGEM

Às vezes em uma operação de redução de tamanho das partículas é necessário a utilização em conjunto de dois tipos de moinho para se obter o resultado final. Esta prática emprega a classificação de tamanho das partículas que são passadas em diferentes estágios de moagem com diferentes telas (figura-9).

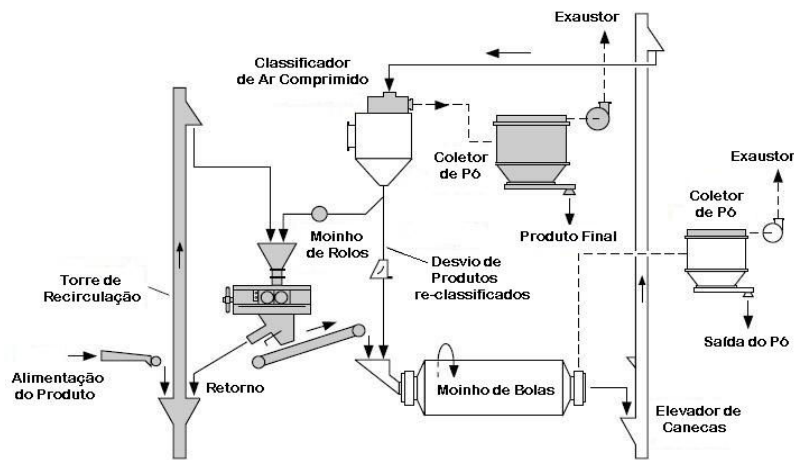


Figura-9: Sistema Combinado de Classificação e Moagem

Quando o processo de moagem é contínuo, se requer o uso de classificadores para avaliar qual será a porção de produto que segue para outros processos e qual parte retorna novamente para ao moinho para nova moagem. O principal objetivo deste tipo de processo é a economia gerada. Outra vantagem é a obtenção de um produto com distribuição mais uniforme de tamanho, comparada com a obtida em processos descontínuos (figura-10).

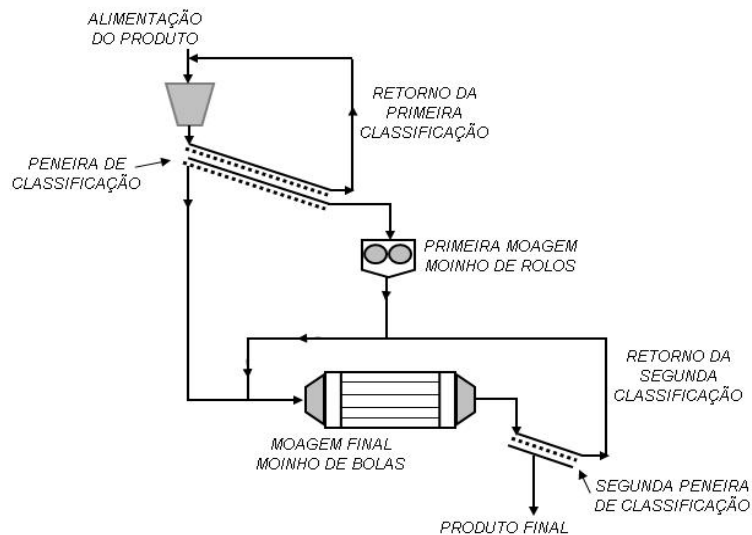


Figura-10: Esquema de processo combinado de classificação e moagem

Algumas aplicações de redução de tamanho empregada em alimentos, conforme o tipo de moinho (Quadro-2).

Quadro-2: Tipo de Moinho Utilizado na Redução de Tamanho em Alimentos

Tipo de Moinho:	Moinho de Rolos	Moinho Martelo	Disco de Atrito	Moinho de Esferas
Moagem Grossa	•			
Moagem Semi-Fina	•	•	•	•
Moagem Fina e Ultra Fina		•	•	•
Chocolate	•			•
Cacau Pasta			•	•
Milho Úmido			•	
Frutas Secas		•		
Leite Seco		•		
Vegetais Secos		•		
Alimentos em Grãos	•		•	
Pimenta in Natura		•	•	
Sal		•		•
Especiarias		•		
Amido Úmido			•	
Açúcar		•		•

REFERÊNCIAS

BRENNAN, J.G., **Food Processing Handbook**, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany, 2006.

FELLOWS, P., **Food Processing Technology – Principles and Practice**, CRC Press LLC, Boca Raton, New York, USA, 2000.

MCCABE, W.L, SMITH, J.C., HARRIOTT, P., **Operaciones Unitárias em Ingenieria Química**, McGraw-Hill, New York, 1991.

EARLE,R.L.,EARLE,M, D., **Unit Operations in Food Processing**, Publis.,NZIFST, New Zealand, 1983.

PERRY, H.R.,GREEN, D.W. **Perry's Chemical Engineers' Handbook**, MacGraw-Hill, USA, 1997.

BRENNAN, J. G., BUTTERS, J.R., COWELL, N.D. & LILLY, A.E.V., **Food Engineering Operations**, Elsevier, London, UK, 1990.

MAFART, P. , **Génie Industriel Alimentaire, Les procédés physiques de conservation**, vol-1, Lavoisier, Paris, 1996.

BARBOSA-CÁNOVAS, G.V., ORTEGA-RIVAS, E., JULIANO,P., YAN, H., **FOOD POWDERS - Physical Properties, Processing, and Functionality**, Academic/Plenum Publishers, New York-USA, 2005.