

# Beneficiamento gravimétrico

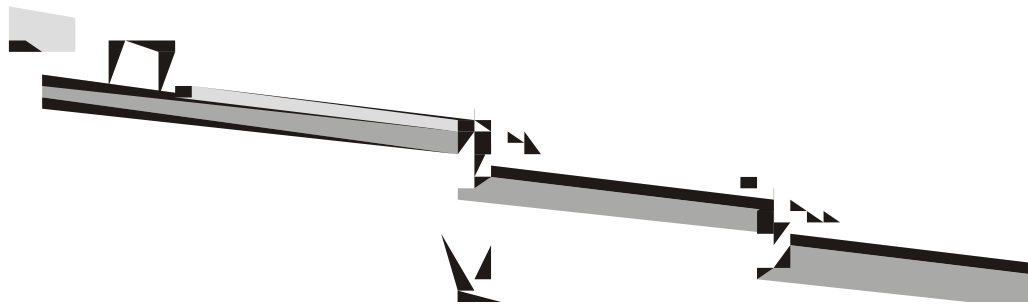
## Espirais e Mesas concentradoras

# Processos gravimétricos

## Mesa plana



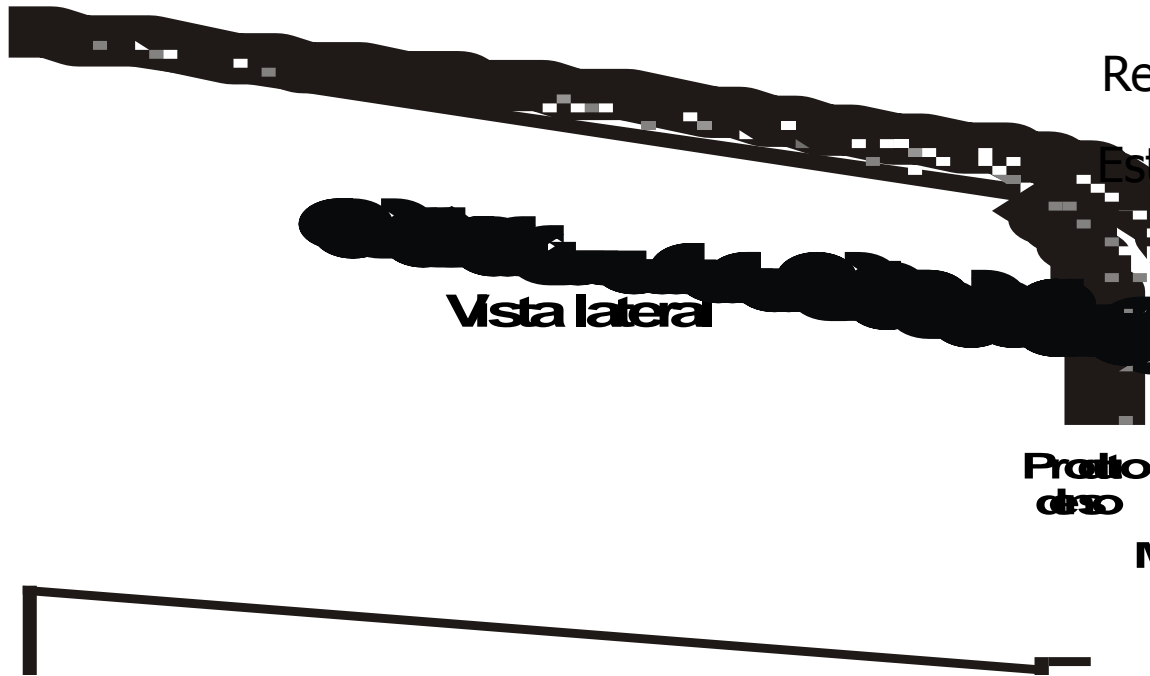
Largura ~ 1m  
Capacidade ~ 60 t/h/  
metro de largura  
Distância vertical entre  
seções ~ 8 cm  
Inclinação ~ 8 a 10°  
% sólidos ~ 60 a 70%



Aplicações:  
Recuperação de ouro  
da carga circulante de  
moinhos (África do  
Sul)  
Brasil: Ouro em Morro  
Velho/MG

# Processos gravimétricos

## Calha estrangulada



Fundo liso desprovido de rifles

Remoção do concentrado contínuo

Estrangulamento facilita separação

Capacidade limitada (individual)

~ 0,5 a 2 t/h

# Processos gravimétricos

## Espirais

### História:

- Inventada em 1941 USA para concentrar pirita associada a ouro;
- Uso industrial com areias contendo cromo (1943) e titânio (1944);
- Substituição de material concreto em fibra de vidro possibilitou grande avanço significativo;
- Outros avanços: perfis variados, diâmetros, passos, água de lavagem etc estão disponíveis.

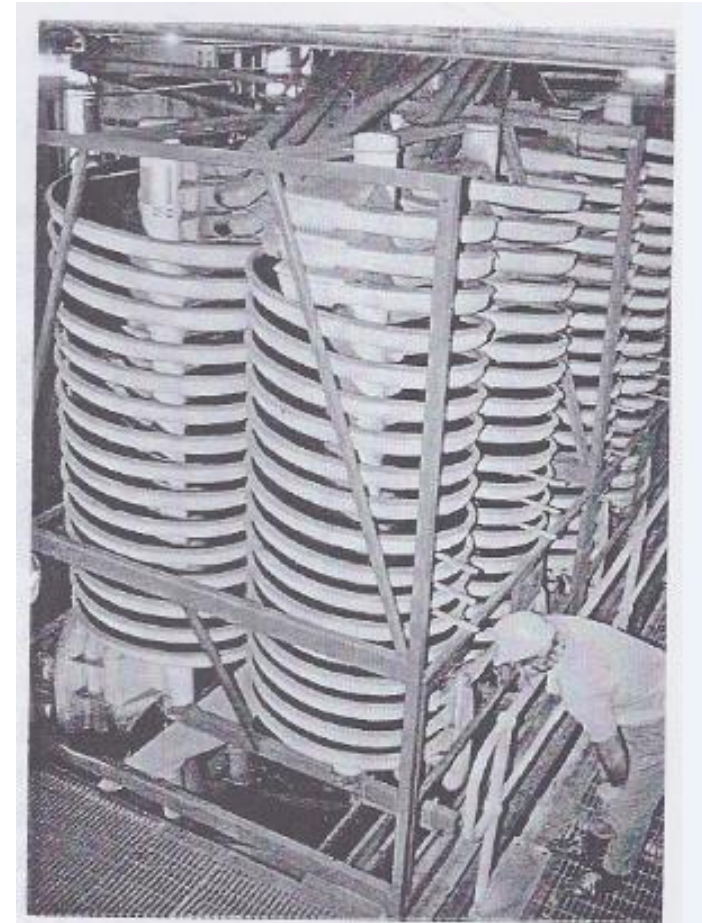


Figura 8.23. Conjunto de espirais concentradoras triplas em operação (cortesia da MD Mineral Technologies, Inc).

# Processos gravimétricos

## Espiral de Humphreys

Definição de espiral concentradora:

- Calha em forma de helicóide, de seção semicircular modificada e suportada por uma coluna central, na qual uma polpa de alimentação é introduzida por meio de uma caixa de alimentação, acima do equipamento;

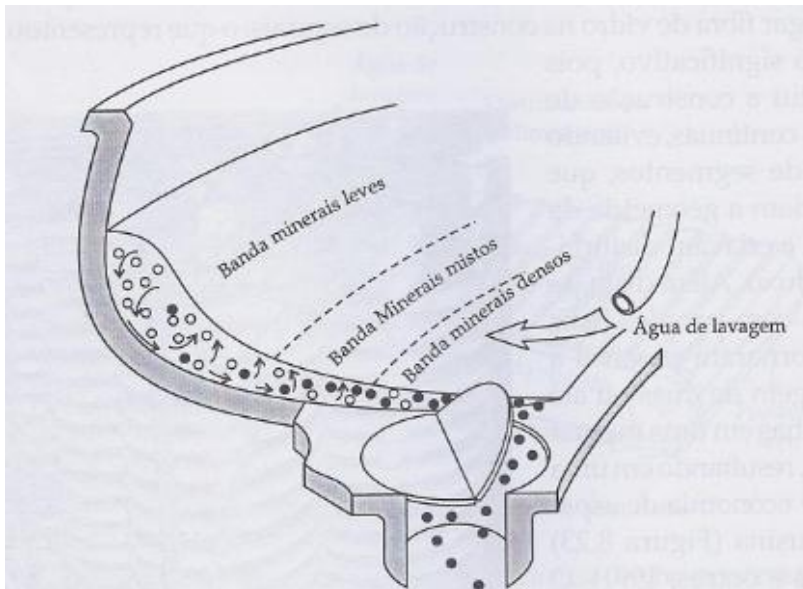


Figura 8.24. Separação de partículas na espiral de Humphreys

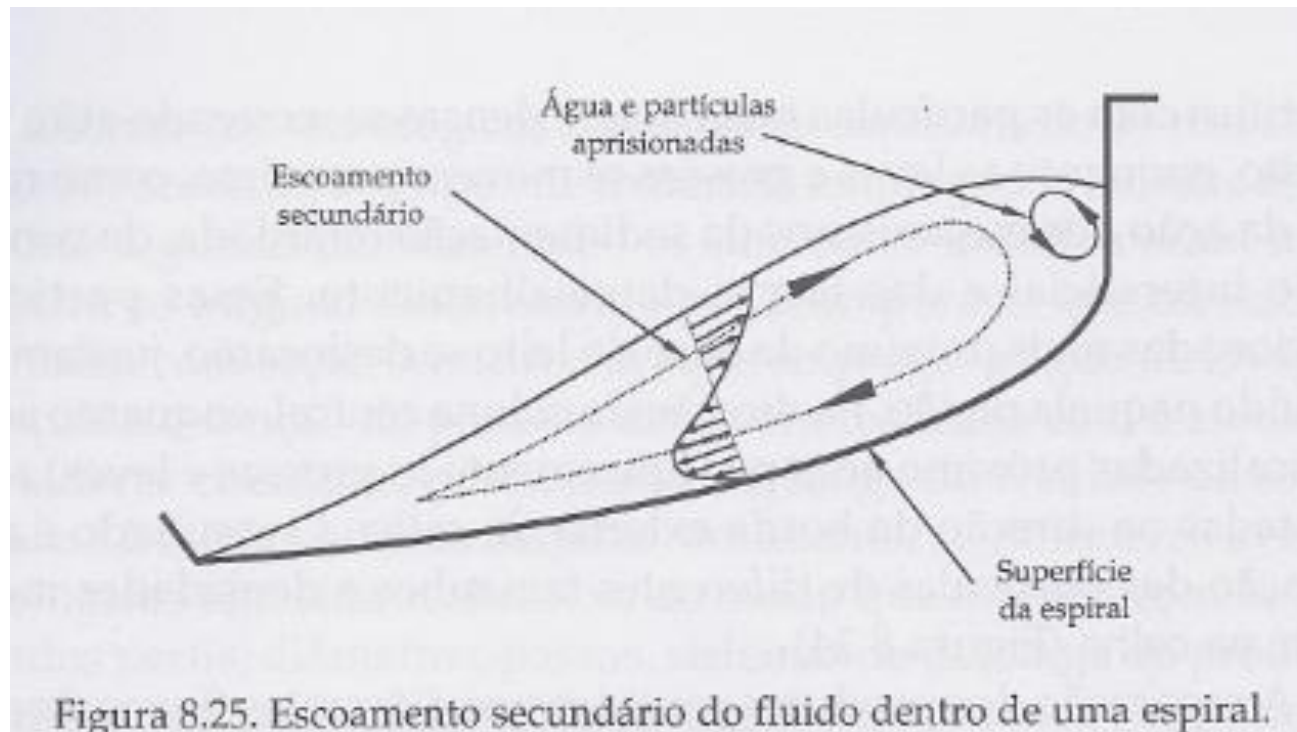


# Espirais

## Fundamentos teóricos

Escoamento do fluido na espiral:

- Escoamento mais complexo de todo o beneficiamento gravimétrico;
- Escoamento controlado pela interação de várias forças + parâmetros geométricos (diâmetro e passo);
- Dois tipos de escoamentos: primário e secundário (ver figura);

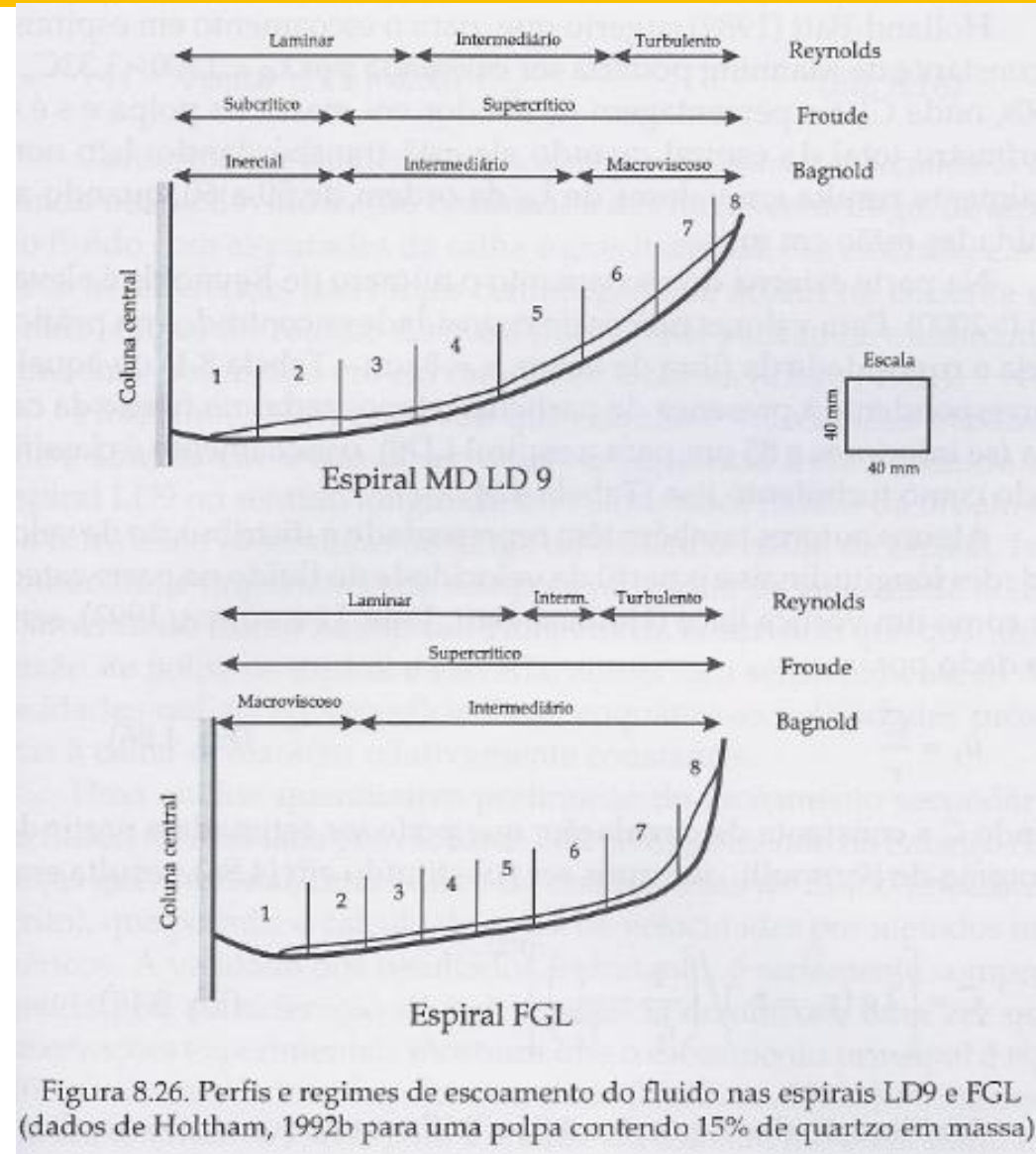


# Espirais

## Fundamentos teóricos

Dois tipos de escoamento:

- Escoamento laminar nas proximidades da coluna;
- Turbulento na extremidade oposta;



# Espirais

## Fundamentos teóricos

Pág. 386

Mecanismos de separação de partículas:

Força centrífuga:

$$F_c = \frac{\pi}{6} d_p^3 (\rho_s - \rho_f) \frac{U_t^2}{r}$$

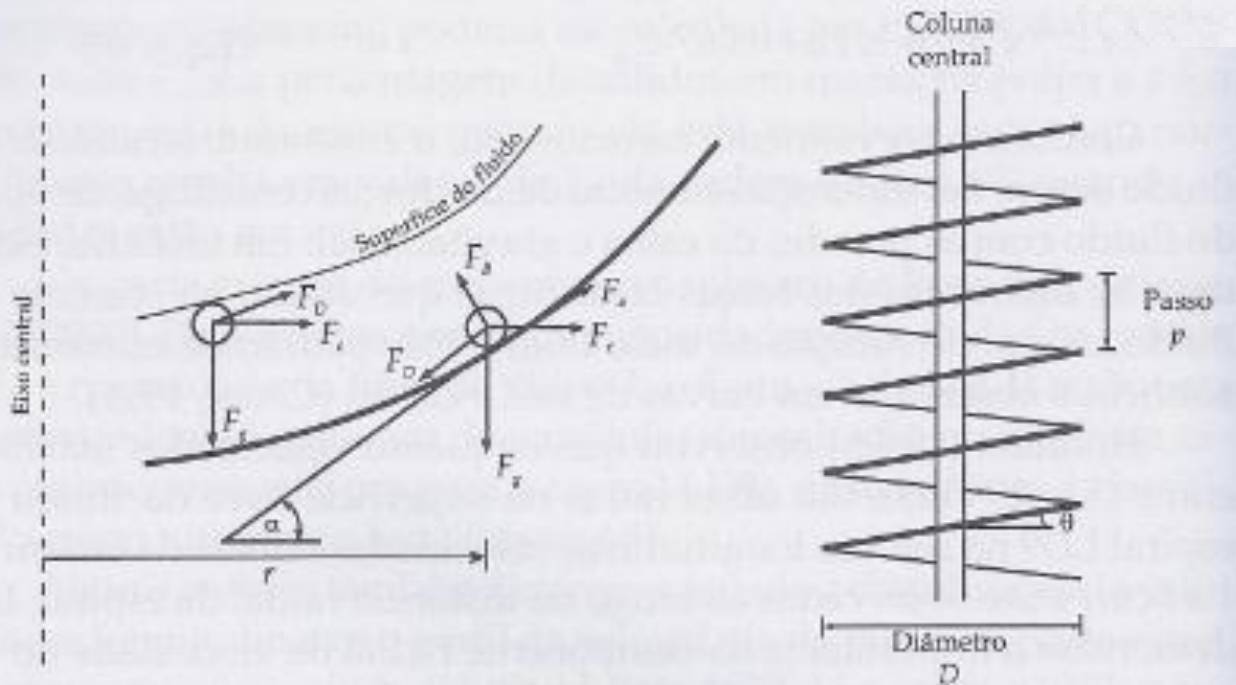


Figura 8.27. Forças que atuam em partículas no fluxo de uma espiral (esquerda) e parâmetros geométricos da calha (direita).



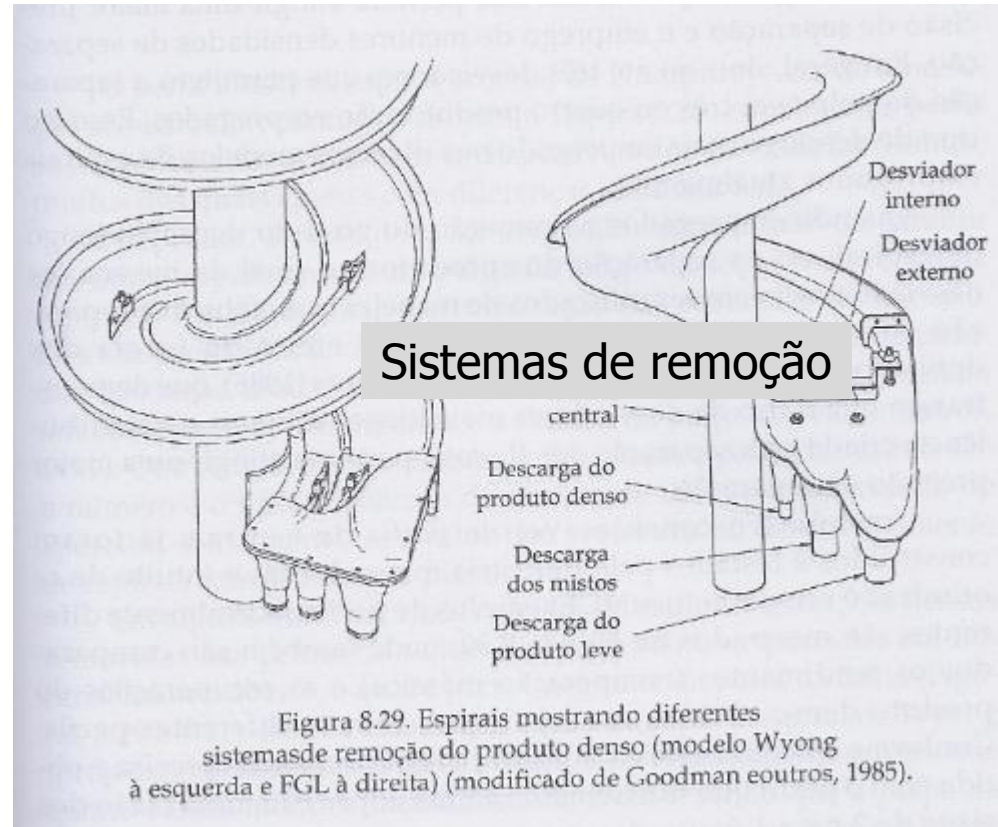
# Distribuição de partículas

## Conclusões teóricas:

- A probabilidade de uma partícula se manter em suspensão, até atingir os desviadores no final, depende de sua velocidade de sedimentação;
- Partículas com baixas velocidades de sedimentação apresentam maior probabilidade de se encontrarem em suspensão e vice-versa;
- Para separação eficaz, é necessário que as partículas percorram várias voltas na espiral, até atingirem o equilíbrio.

# Características construtivas

- O **diâmetro** influencia bastante na capacidade e a granulometria beneficiada na espiral;
- **Diâmetros** disponíveis hoje em torno de 600mm a 1.000mm;
- O **passo** está relacionado com a velocidade da polpa.

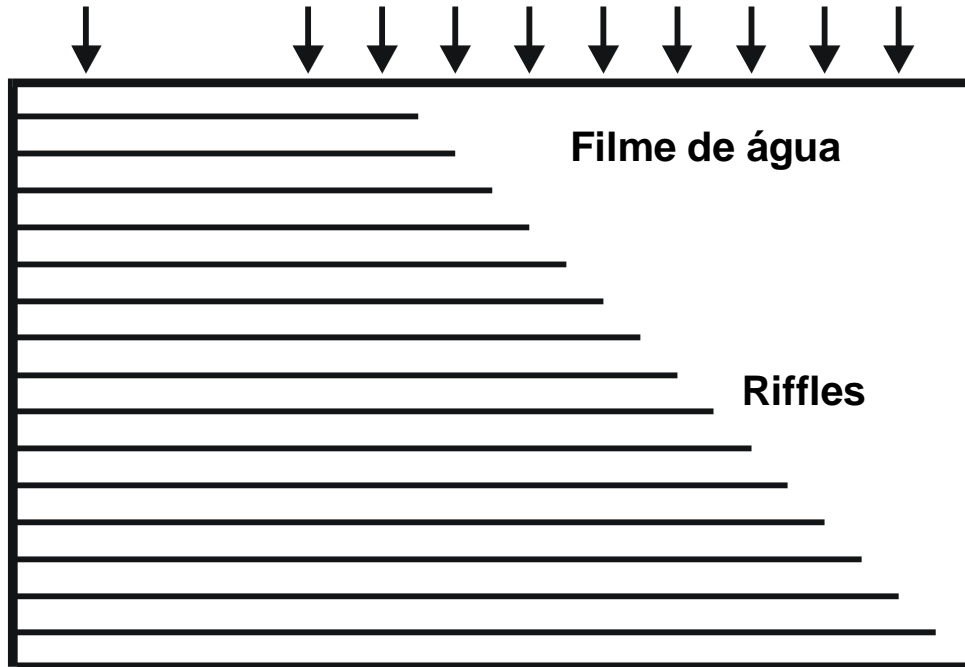


# Processos gravimétricos

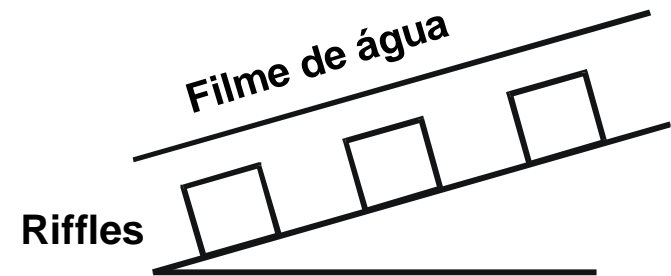
## Mesa concentradora

Alimentação

Água



Inclinação



# Mesa concentradora

LAPROM/UFRGS



# Processos gravimétricos

## Mesa concentradora

As mesas utilizam dois princípios básicos na estratificação:

- Movimento horizontal alternado e assimétrico, formando um ângulo reto com a direção do fluxo da película de água;
- Uso de **riffles** colocados perpendicularmente ao fluxo da água e paralelamente ao movimento da mesa. Os riffles são colocados próximos uns dos outros de modo que ocorra um regime laminar do fluxo de água acima dos mesmos e turbulento entre eles.

# Processos gravimétricos

## Mesa concentradora

Uma partícula, no vácuo, sobre uma superfície horizontal, submetida a movimento horizontal desta superfície, está sujeita a duas forças:

- uma devido à aceleração da superfície e
- outra devido à força de atrito entre a superfície e a partícula.

# Processos gravimétricos

## Mesa concentradora

- A superfície horizontal, onde se encontra a partícula, pode possuir movimento alternado;
- Esse movimento pode ser simétrico ou assimétrico:
  - Se o movimento for **simétrico**, a partícula pode ou não se mover sobre a superfície de acordo com os valores da máxima aceleração e do coeficiente de atrito estático;
  - Se o movimento for **assimétrico**, a partícula pode movimentar-se em apenas uma direção, ou simplesmente, pode mover-se nas duas direções com diferentes velocidades.

# Processos gravimétricos

## Mesa concentradora

Pág. 419

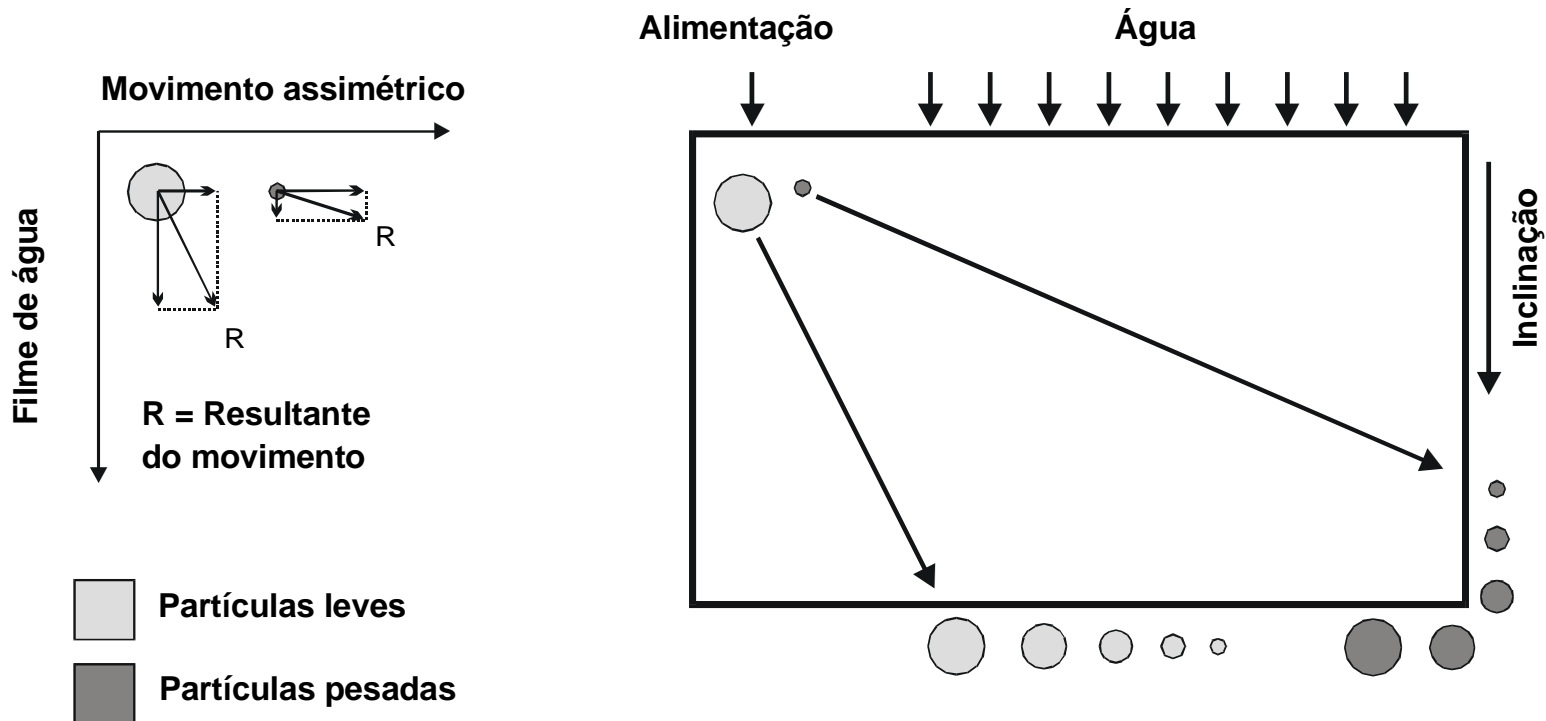
A equação mostra que minerais de diferentes pesos específicos, porém tendo o **mesmo coeficiente de atrito**, movem-se, sob acelerações assimétricas da superfície, com diferentes valores, ou seja, **minerais leves movem-se com acelerações mais baixas que minerais mais pesados.**



# Mesa concentradora

## Movimentos

Movimento relativo de partículas sobre uma mesa concentradora:



Em geral, **partículas pequenas** e pesadas se movem mais do que **partículas grandes e leves**.

# Mesa concentradora

## Riffles

A combinação de concentração em filmes finos e movimento assimétrico alternado tem como limitante sua capacidade, pois **apenas monocamadas** podem ser beneficiadas.

Por esta razão, são colocados **riffles** nas mesas concentradoras, para que ocorra o beneficiamento de camadas com várias partículas de profundidade.

# Mesa concentradora

## Riffles



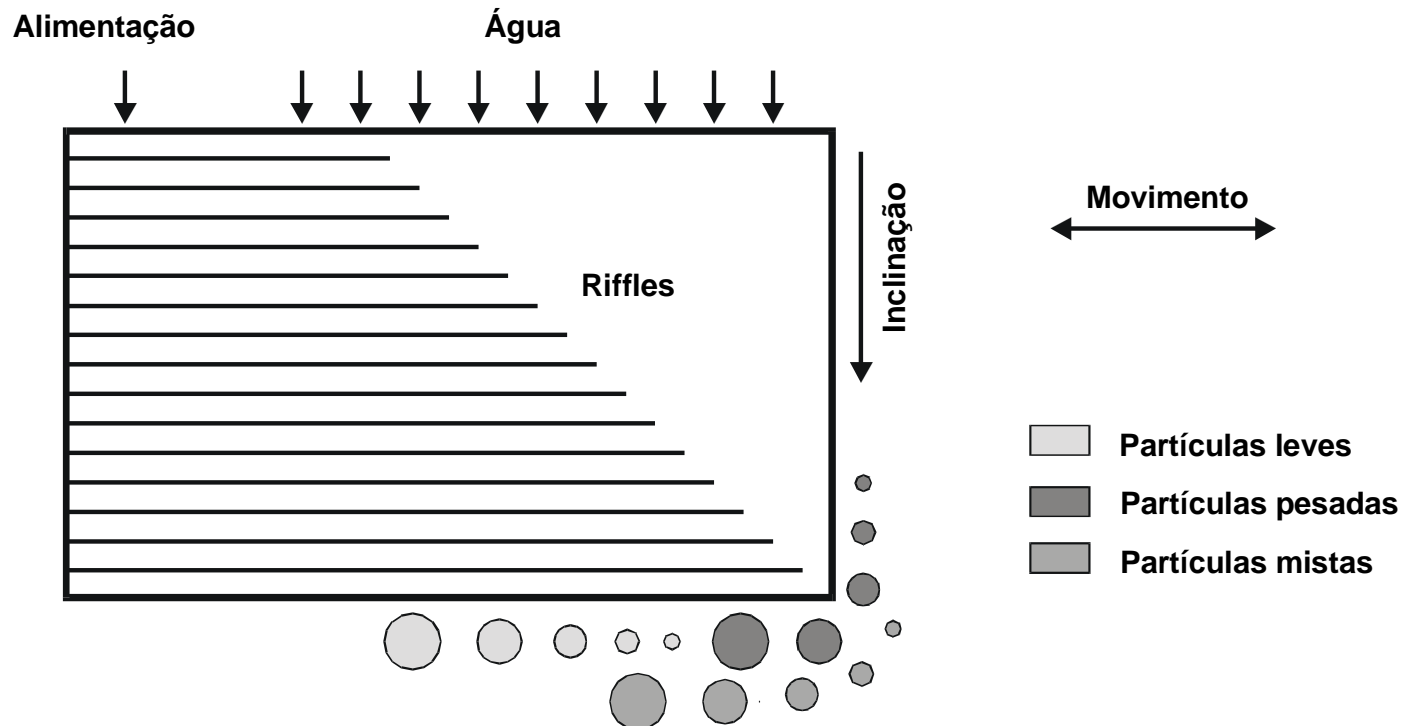
A expansão e compactação do leito formado entre os *riffles* são obtidas através de efeitos combinados do movimento assimétrico do *deck* e da turbulência do fluido através dos *riffles*.

Cada espaço entre dois *riffles* sucessivos pode, então, ser considerado como um **jigue em miniatura**, no qual ocorrem os fenômenos de concentração em jigues.

# Mesa concentradora

## Estratificação horizontal

Como resultado, tem-se uma estratificação horizontal em bandas de acordo com a **densidade** e **tamanho** das partículas, com os grossos e pesados ficando junto aos leves e finos.



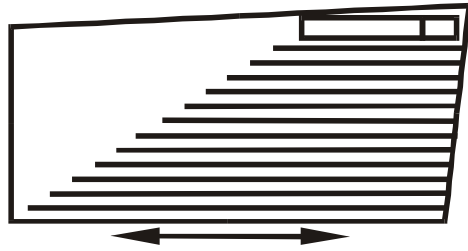
# Mesa concentradora

## Parâmetros dos equipamentos

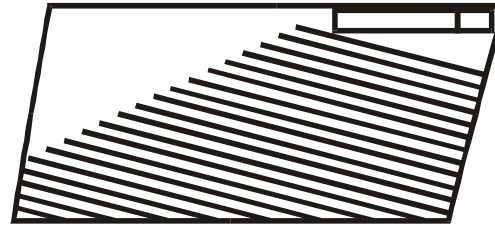
- Existem diversos parâmetros operacionais no beneficiamento de minerais em mesas concentradoras;
- Eles visam a otimização da estratificação do leito de partículas e o transporte de material sobre a mesa;
- A otimização das variáveis para a estratificação do leito é incompatível com as variáveis de transporte do material;
- Quando se tem transporte razoável do material beneficiado a estratificação do leito não está otimizada.

# Mesa concentradora

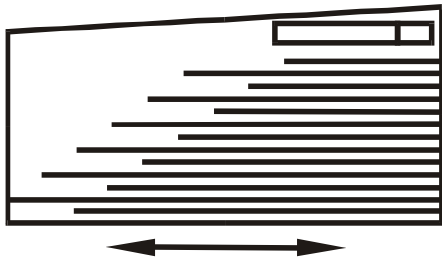
## Parâmetros dos equipamentos



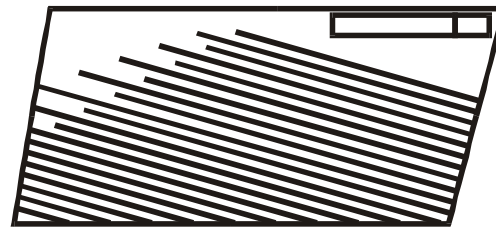
Mesa Wilfley



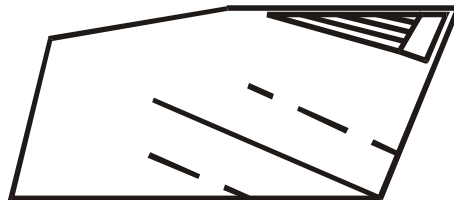
Mesa Concenco



Mesa SKM



Mesa Holman



Mesa Holman

## Tipos de Decks

As mesas concentradoras apresentam, normalmente, decks com formato **romboidal** ou **retangular**.

# Mesa concentradora

## Parâmetros dos equipamentos

### Tipos de riffles

Mesas apresentam os mais variados tipos de riffles. Suas funções básicas são:

- Reter o material mais pesado junto ao deck;
- Transmitir o movimento do deck para a polpa; e
- Submeter ao fluxo turbulência suficiente para classificar o material nos espaços inter-riffles.

# Mesa concentradora

## Parâmetros dos equipamentos

### Inclinação lateral e longitudinal

- As **inclinações** de uma mesa concentradora, lateral e longitudinal, influenciam diretamente o transporte de material ao longo dos dois eixos da mesma;
- Inclinação **longitudinal** é definida como sendo a inclinação paralela ao movimento do deck;
- Inclinação **lateral** é a inclinação na direção da descarga do concentrado, ou inclinação perpendicular ao movimento do deck.



# Mesa concentradora

## Parâmetros dos equipamentos

Inclinações típicas de mesas concentradoras

	<b>Inclinação longitudinal (mm/m)</b>	<b>Inclinação lateral (mm/m)</b>
Areia grossa	11 – 25	20 - 25
Areia média	9 – 15	15 – 30
Areia fina	2 – 9	8 – 20
Ultra-finos	1 - 7	4 – 12

# Mesa concentradora

## Parâmetros dos equipamentos

Mecanismos de oscilação:

Ciclo de movimentação de mesas concentradoras:  
comprimento e frequência

Para material mais **grosso** utilizam-se **longos comprimentos** de onda e **baixas frequências**, enquanto que para material **fino** utilizam-se **pequenos comprimentos** de onda e **altas frequências**.

Dados típicos de ciclos de movimento de mesas:

	Amplitude (mm)	Frequência (rpm)
Minério grosso	12 – 25	260- 300
Minério fino	9 – 20	280 – 320
Carvão	20 – 35	260 – 285

# Mesa concentradora

## Parâmetros dos equipamentos

### Parâmetros da Alimentação

Mesas concentradoras utilizam granulometrias restritas. Quanto mais restrita mais eficientemente trabalha o equipamento.

O top size varia com o tipo de minério (não superior a 2 mm). Top sizes maiores diminuem a eficiência do processo. Prejudica o beneficiamento das frações mais finas (regulagens diferentes).

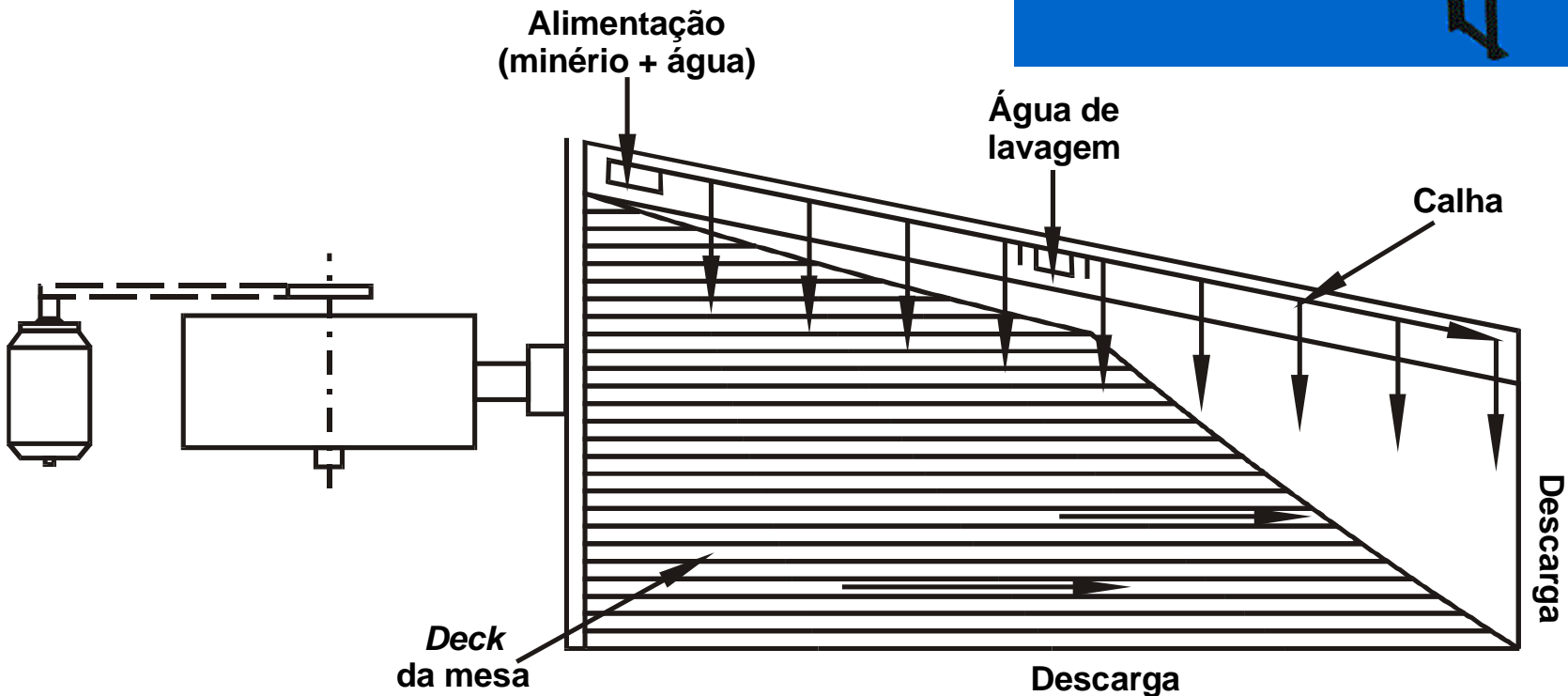
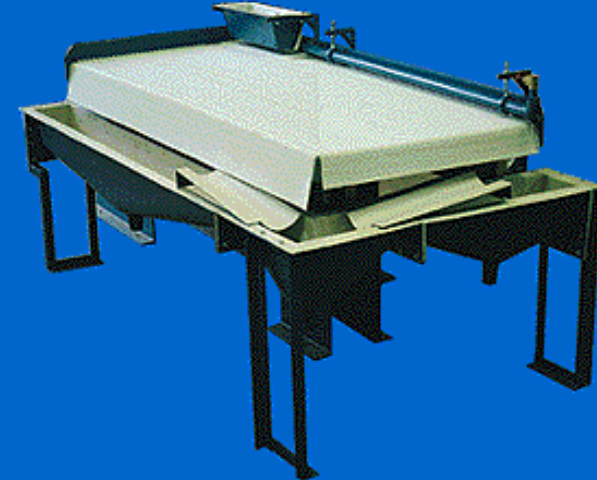
O under size é função do volume de água utilizado, dos parâmetros reguladores do movimento da mesa, da distribuição granulométrica da alimentação, etc. (normalmente 40 micrômetros).

# Mesa concentradora

## Tipos de mesas

### Mesa vibratória de Wilfley

3000



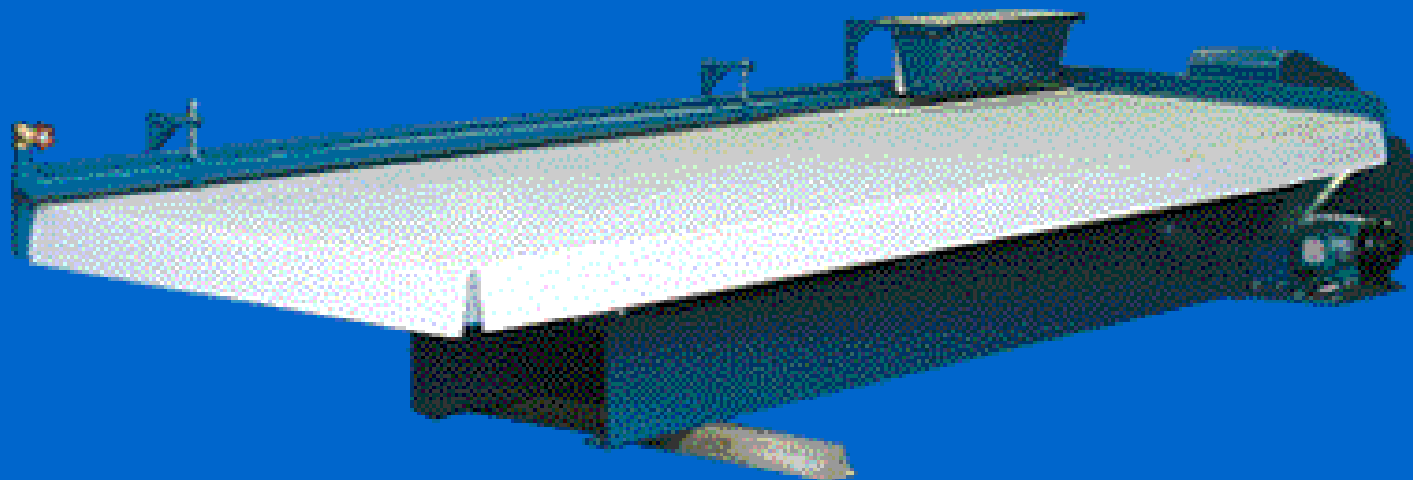
# Mesa concentradora

## Tipos de mesas

500 & 800



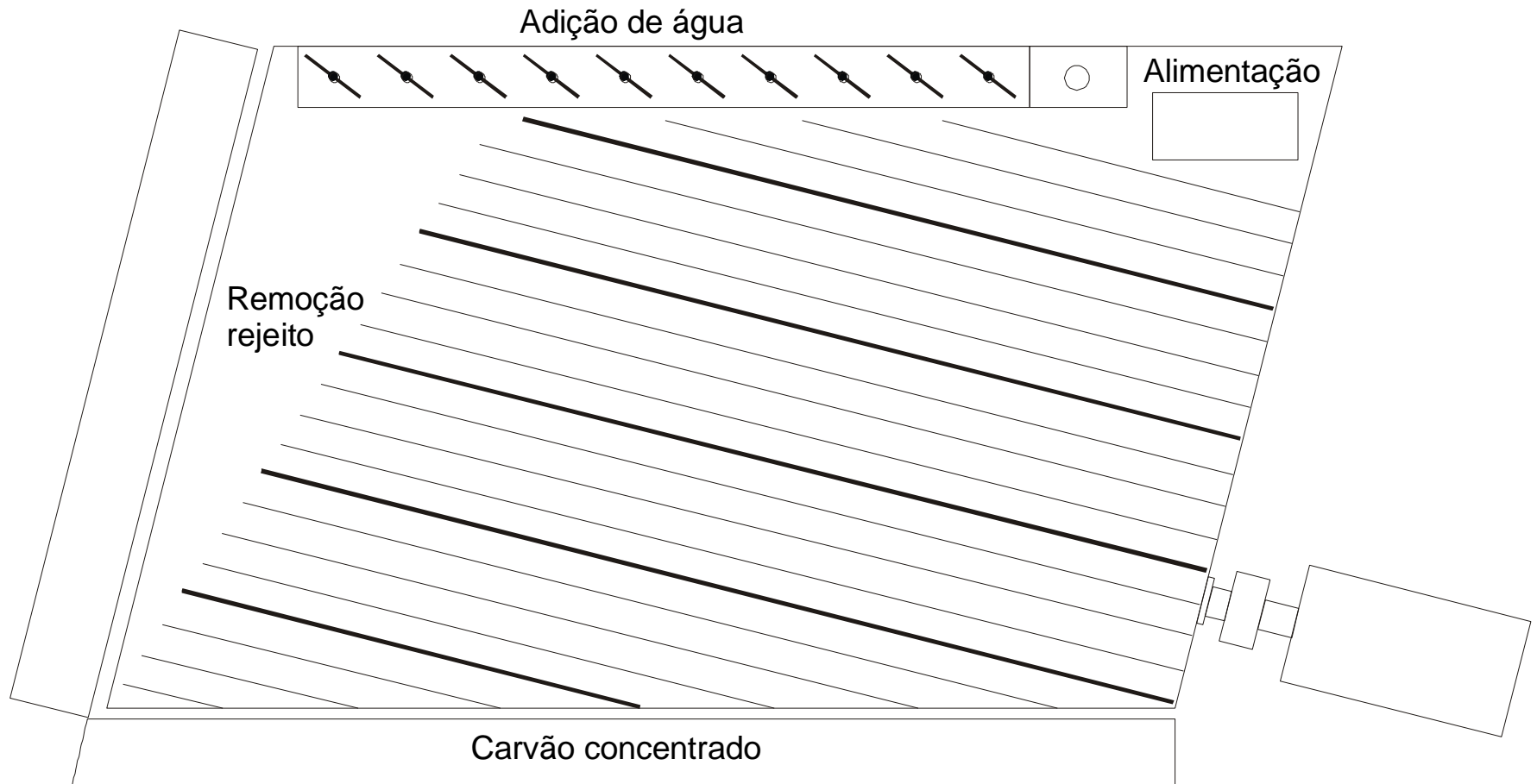
7000



# Mesa concentradora

## Tipos de mesas

### Mesa vibratória de Deister



# Mesa concentradora

## Tipos de mesas

### Concentradores de Bartles-Mozley

