

**CETM**  
Curso de Especialização em  
Tratamento de Minérios

# Concentração física de minerais

3. Concentração gravítica

Prof. Dr. André Carlos Silva

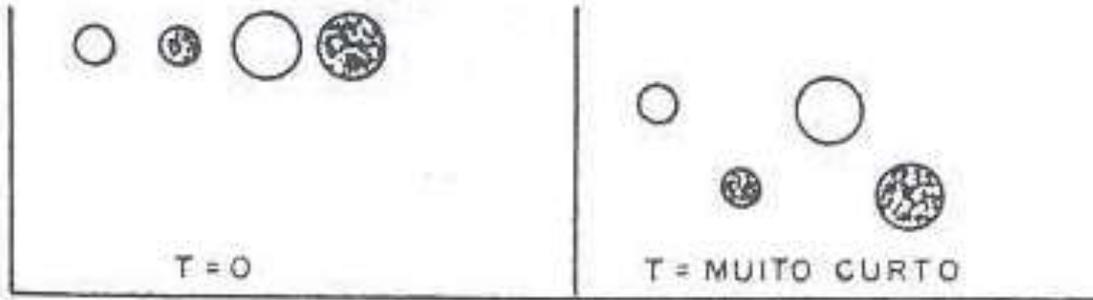
# 1. Princípios de concentração gravítica

- A concentração gravítica pode ser definida como um processo no qual partículas de diferentes densidades, tamanhos e formas são separadas uma das outras por ação da força de gravidade ou por forças centrífugas.
- É uma das mais antigas formas de processamento mineral e, apesar de tantos séculos de utilização, seus mecanismos ainda não são perfeitamente compreendidos.

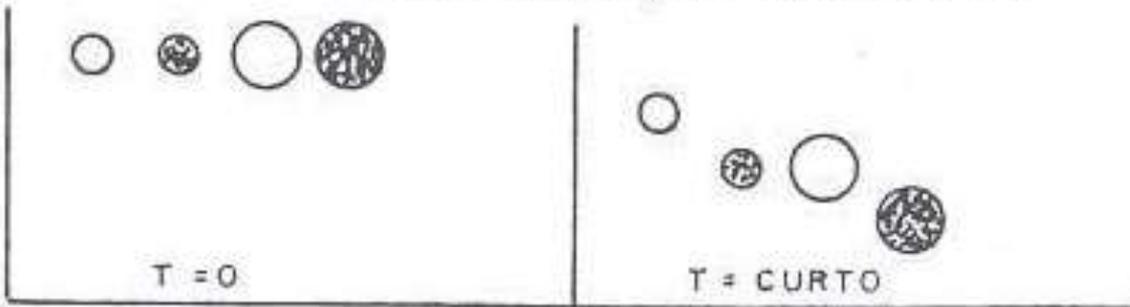
# 1. Princípios de concentração gravítica

- Os principais mecanismos atuantes no processo de concentração gravítica são os seguintes:
  - Aceleração diferencial;
  - Sedimentação retardada;
  - Velocidade diferencial em escoamento laminar;
  - Consolidação intersticial;
  - Ação de forças cisalhantes.

### ACELERAÇÃO DIFERENCIAL

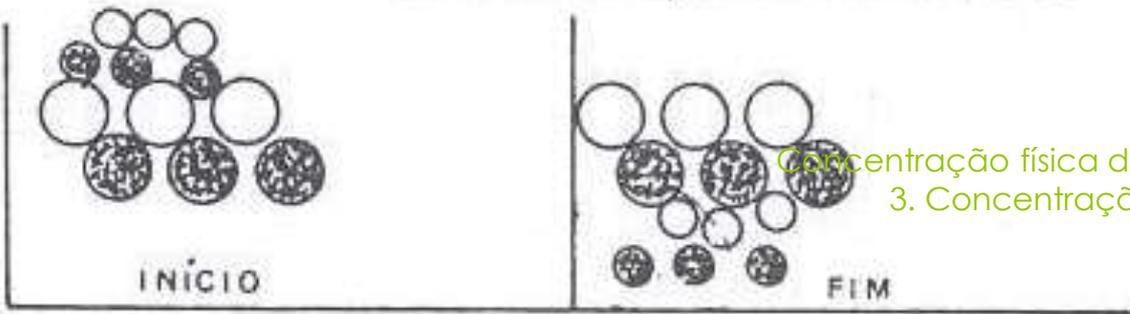


### SEDIMENTAÇÃO RETARDADA

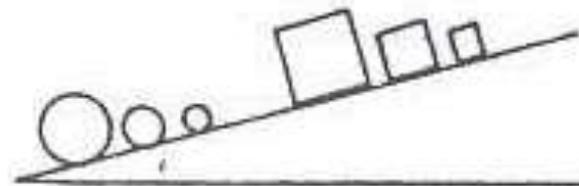
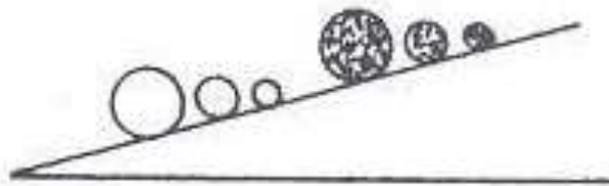


○ LEVE  
● PESADO

### CONSOLIDAÇÃO INTERSTICIAL



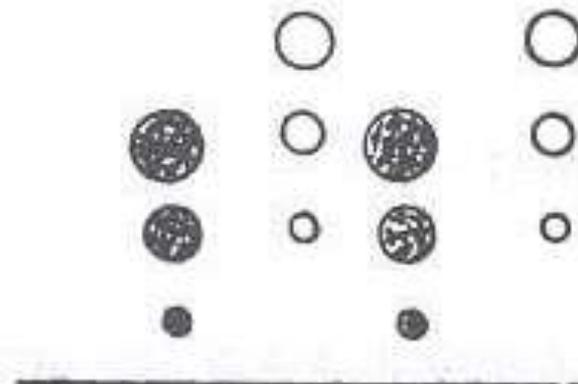
Concentração física de minerais -  
3. Concentração gravítica



AÇÃO DE FORÇAS CIZALHANTES ( BAGNOLD )

○ LEVE

● PESADO



Concentração física de minerais -  
3. Concentração gravítica

# 1.1. Aceleração diferencial

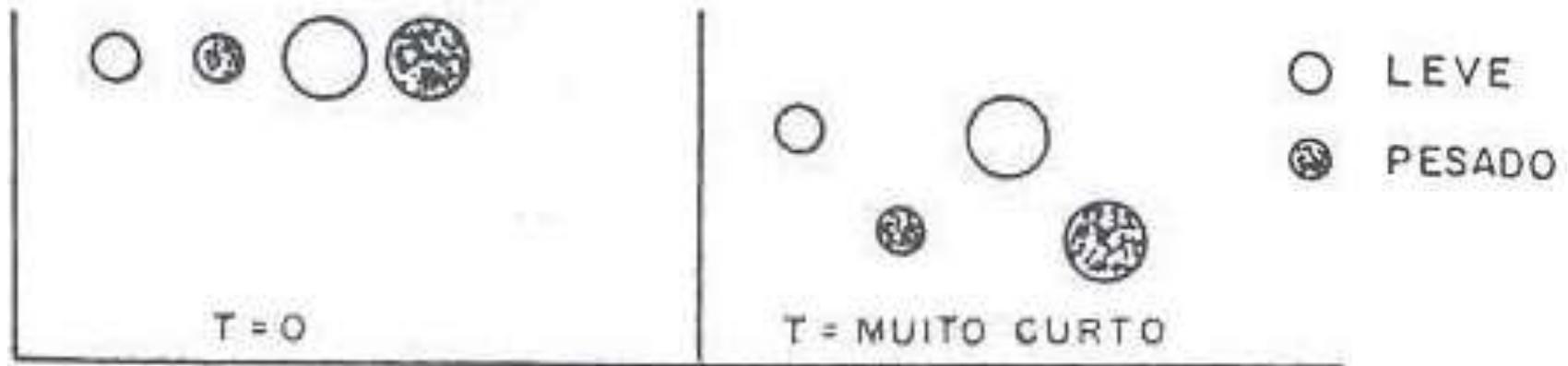
- Na maioria dos concentradores gravíticos, uma partícula sofre a interferência das paredes do concentrador ou de outras partículas e, portanto, pode mover-se apenas por tempo e distância curtos antes que pare ou seja desviada por uma superfície ou por outra partícula.

# 1.1. Aceleração diferencial

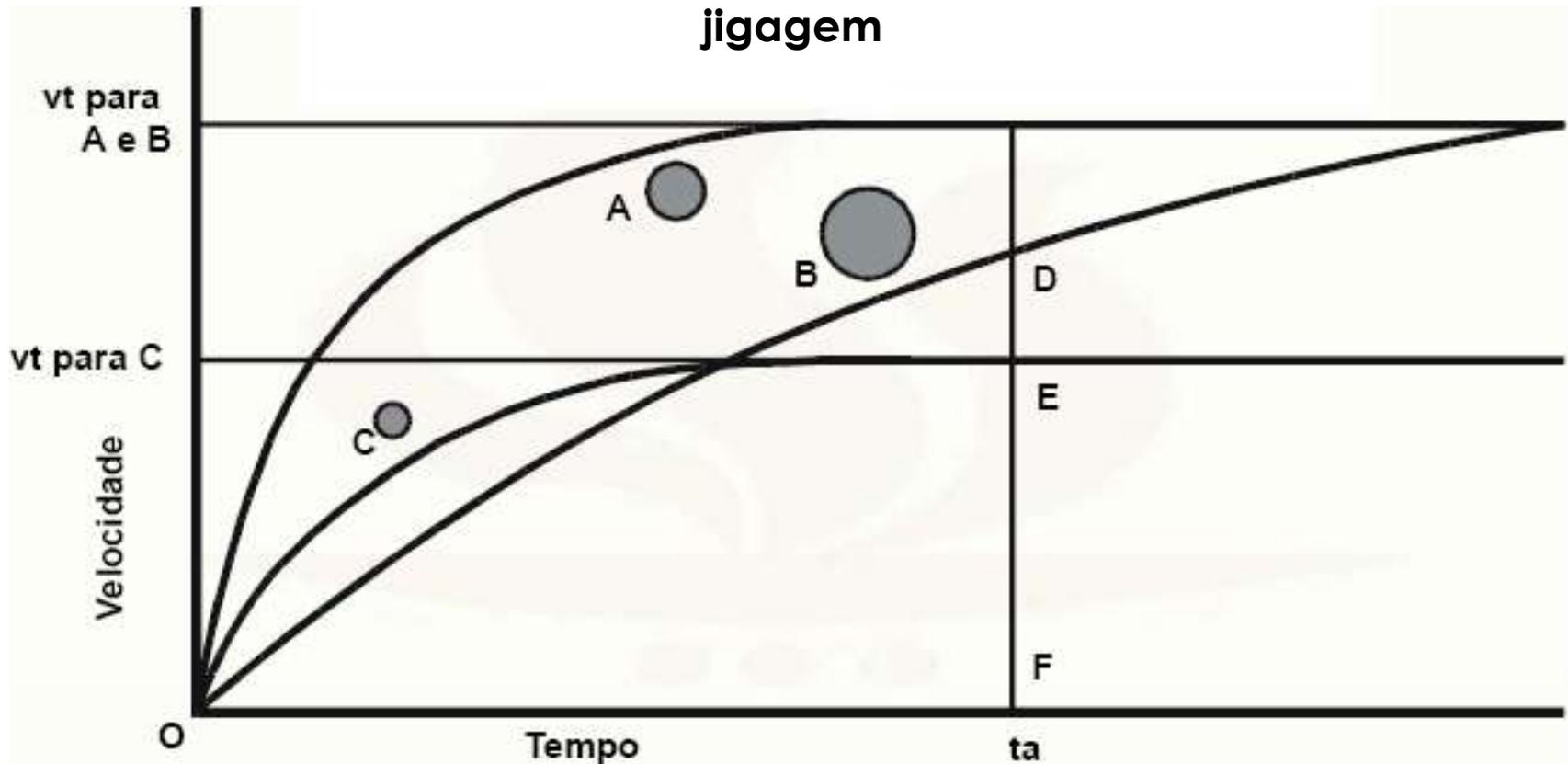
- Assim, as partículas estão sujeitas a seguidas acelerações (e desacelerações) e, em algumas condições, esses períodos de aceleração podem ocupar uma porção significativa do período de movimento das partículas.

# 1.1. Aceleração diferencial

## ACELERAÇÃO DIFERENCIAL



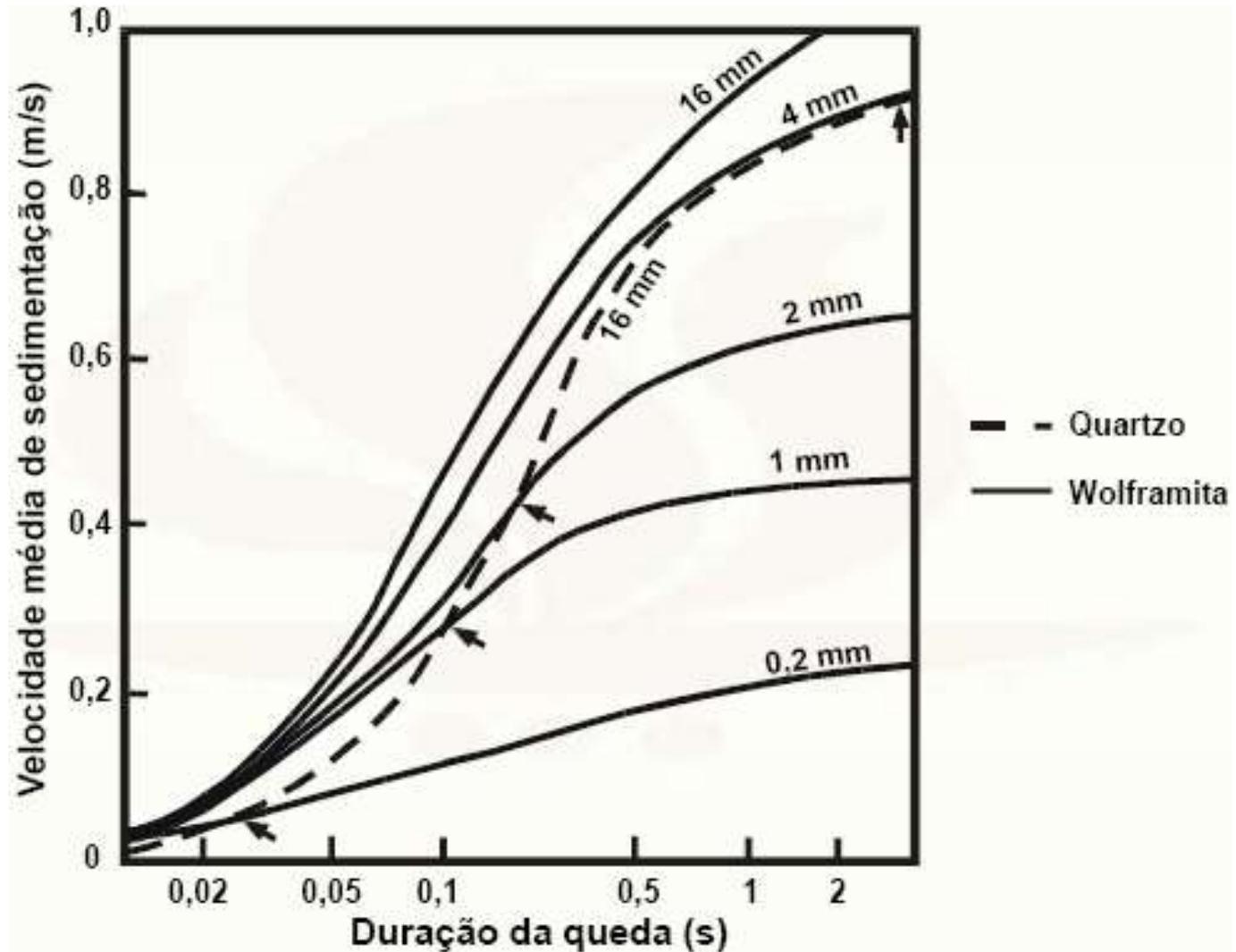
## Relação entre a velocidade e o tempo para partículas envolvidas na jigagem



- (A) Partícula grande de wolframita.
- (B) Partícula de sílica com a mesma  $v_t$  que (A).
- (C) Partícula pequena de wolframita.

Concentração física de minerais -  
3. Concentração gravítica

## Velocidade de sedimentação por tempo para várias partículas



## 1.2. Sedimentação retardada

- Uma partícula em queda livre em um fluido (por exemplo água) é acelerada por um certo tempo pela ação da força de gravidade, aumentando sua velocidade até alcançar um valor máximo (denominada de **velocidade terminal**), após este ponto a velocidade da partícula permanecerá constante.

## 1.2. Sedimentação retardada

- A diferença de densidade entre partículas minerais tem um efeito mais pronunciado nas faixas grossas, ou ainda, por outro lado, nas faixas granulométricas mais finas, a separação por este mecanismo é menos efetiva.

## 1.2. Sedimentação retardada

- Por exemplo, uma pepita esférica de ouro de 2 mm de diâmetro apresenta a mesma velocidade terminal, em queda livre, que uma partícula de quartzo de 20 mm.
- Já a velocidade terminal de uma partícula de ouro de 20  $\mu\text{m}$  se iguala à de uma partícula de quartzo apenas três vezes maior, de 60  $\mu\text{m}$  de diâmetro.

## 1.2. Sedimentação retardada

- Se ao invés de água houver a sedimentação em uma polpa (água e minerais) o sistema se comporta como um líquido pesado, e a densidade da polpa é mais importante que a da água.
- A condição de **sedimentação retardada**, ou com interferência, agora prevalece.

## 1.2. Sedimentação retardada

- Se a massa específica da polpa fosse 2, por exemplo, os diâmetros do quartzo e ouro seriam 48 e 2 mm e 100 e 20  $\mu\text{m}$ , respectivamente, para comparação como o exemplo acima, ou seja, os diâmetros em que as partículas de quartzo e ouro apresentariam a mesma velocidade terminal nos dois regimes.

## 1.2. Sedimentação retardada



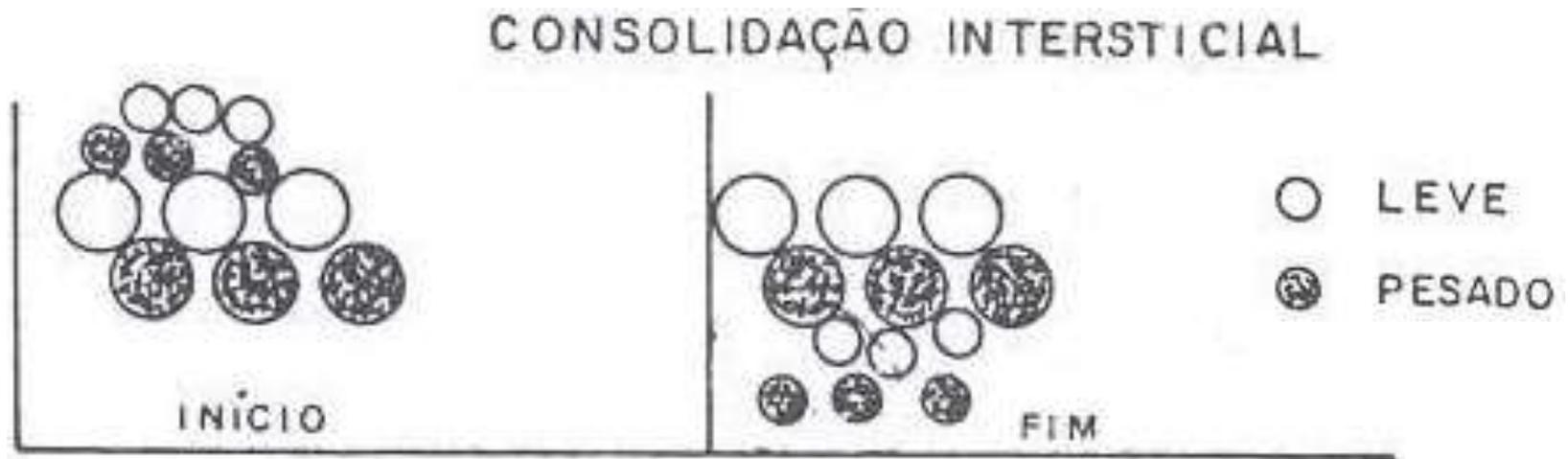
## 1.3. Consolidação intersticial

- Este mecanismo ocorre devido à formação de interstícios entre partículas grossas de um ou mais minerais, proporcionando liberdade de movimentação das partículas finas nos vazios formados.

## 1.3. Consolidação intersticial

- Por exemplo, no final do impulso em um jigge, o leito começa a se compactar e as partículas pequenas podem então descer através dos interstícios sob a influência da gravidade e do fluxo de água descendente, este provocado pela sucção que se inicia.

# 1.3. Consolidação intersticial



## 1.4. Velocidade diferencial em escoamento laminar

- O princípio em que se baseia a concentração em escoamento laminar é o fato que quando uma película de água flui sobre uma superfície inclinada e lisa, em condições de fluxo laminar ( $Re < 500$ ), a distribuição de velocidade é parabólica, nula na superfície e alcança seu máximo na interface do fluido com o ar.

## 1.4. Velocidade diferencial em escoamento laminar

- Este princípio se aplica à concentração em lâmina de água de pequena espessura, até aproximadamente dez vezes o diâmetro da partícula.
- Quando partículas são transportadas em uma lâmina de água, elas se arranjam na seguinte seqüência, de cima para baixo em um plano inclinado: finas pesadas, grossas pesadas e finas leves, e grossas leves.

## 1.4. Velocidade diferencial em escoamento laminar

- A forma influencia este arranjo, com as partículas achatadas se posicionando acima das esféricas.
- Nota-se que este arranjo é o inverso do que ocorre na sedimentação retardada, sugerindo que uma classificação hidráulica (que se vale do mecanismo de sedimentação) do minério a ser concentrado por velocidade diferencial é mais adequada que um peneiramento.

# 1.4. Velocidade diferencial em escoamento laminar



## 1.5. Ação de forças de cisalhamento

- Se uma suspensão de partículas é submetida a um cisalhamento contínuo, há uma tendência ao desenvolvimento de pressões através do plano de cisalhamento e perpendicular a este plano, podendo resultar na segregação das partículas.
- Este fenômeno foi primeiramente determinado por Bagnold em 1954.

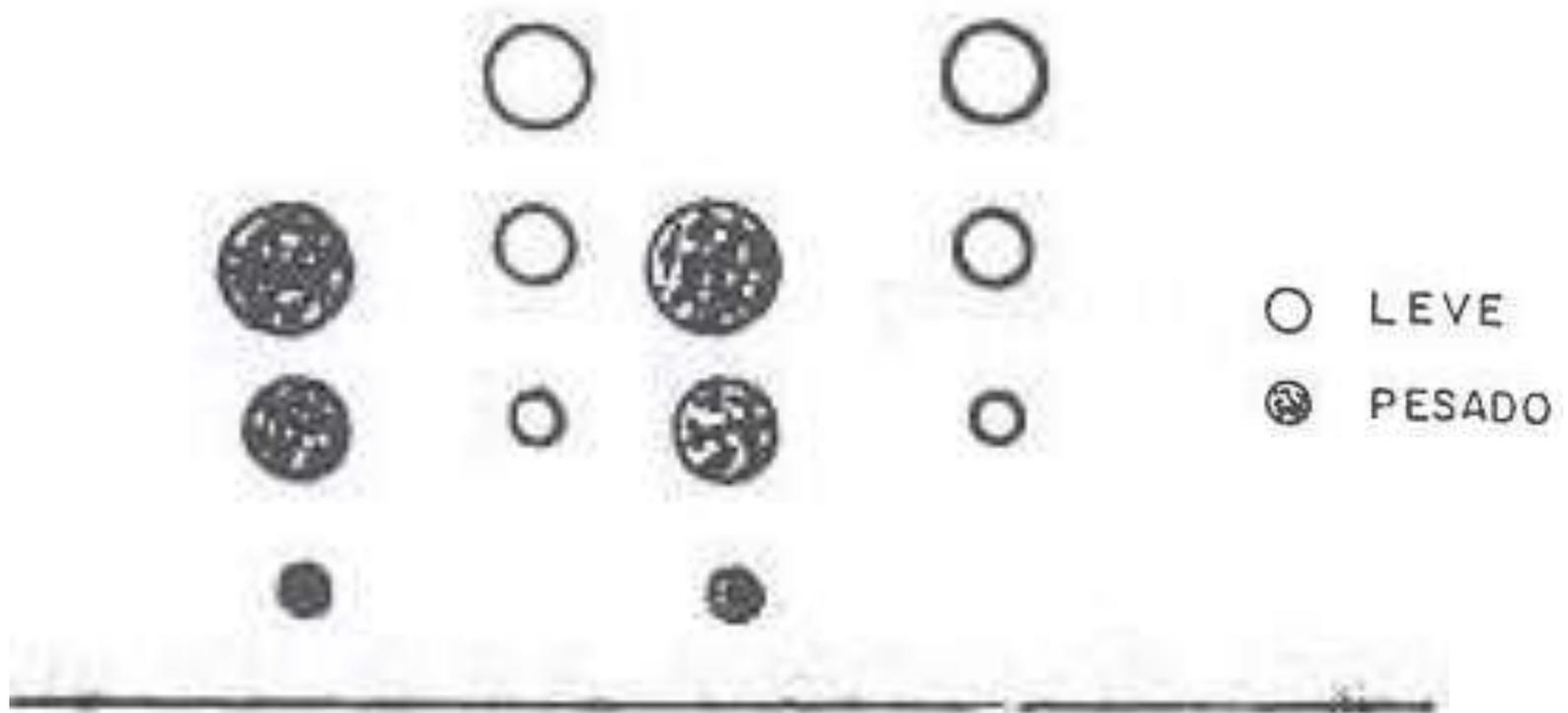
## 1.5. Ação de forças de cisalhamento

- O esforço de cisalhamento pode surgir de uma polpa fluindo sobre uma superfície inclinada, ou ser produzido por um movimento da superfície sob a polpa, ou ainda da combinação dos dois.
- O efeito resultante desses esforços de cisalhamento sobre uma partícula é diretamente proporcional ao quadrado do diâmetro da partícula e decresce com o aumento da densidade.

## 1.5. Ação de forças de cisalhamento

- Deste modo, as forças de Bagnold provocam uma estratificação vertical: partículas grossas e leves em cima, seguindo-se finas leves e grossas pesadas, com as finas pesadas próximas à superfície do plano.
- Nota-se que este mecanismo de separação produz uma estratificação oposta à resultante da sedimentação retardada ou classificação hidráulica.

## 1.5. Ação de forças de



Concentração física de minerais -  
3. Concentração gravítica

## 1.5. Ação de forças de cisalhamento

- Quando o cisalhamento é promovido apenas pelo fluxo de polpa, a vazão tem que ser substancial para criar esforços de cisalhamento suficientes para uma separação, requerendo-se normalmente maiores inclinações da superfície.

## 1.5. Ação de forças de cisalhamento

- Onde o cisalhamento é, principalmente, devido ao movimento da superfície, podem ser usadas baixas vazões e menores ângulos de inclinação da superfície.

## 2. Critério e eficiência de concentração gravítica

- O critério de concentração (CC) é usado em uma primeira aproximação e fornece uma idéia da facilidade de se obter uma separação entre minerais por meio de processos gravíticos, desconsiderando o fator de forma das partículas minerais.

## 2. Critério e eficiência de concentração gravítica

- O critério de concentração, originalmente sugerido por Taggart (1945), com base na experiência industrial, aplicado à separação de dois minerais em água é definido como:

$$CC = (\rho_p - 1) / (\rho_l - 1)$$

## 2. Critério e eficiência de concentração gravítica

- Onde  $\rho_p$  e  $\rho_l$  são as massas específicas dos minerais pesado e leve, respectivamente, considerando a massa específica da água igual a 1,0.
- Para o par wolframita/quartzo, por exemplo, a relação acima assume os valores:

$$CC = (7,5 - 1) / (2,65 - 1) = 3,94$$

## 2. Critério e eficiência de concentração gravítica

- A tabela abaixo mostra a relação entre o critério de concentração e a facilidade de se fazer uma separação gravítica.

CC	Significado
> 2,5	Separação eficiente até 74 $\mu\text{m}$
2,5 — 1,75	Separação eficiente até 147 $\mu\text{m}$
1,75 — 1,50	Separação possível até 1,4 mm, porém difícil
1,70 — 1,20	Separação possível até 6 mm, porém difícil

## 2. Critério e eficiência de concentração gravítica

- Segundo Burt (1984), para incluir o efeito das formas das partículas a serem separadas, o critério de concentração deve ser multiplicado por um **fator de razão de forma** (FRF).
- Este fator é o quociente entre os **fatores de sedimentação** (FS) dos minerais pesados e leves.

## 2. Critério e eficiência de concentração gravítica

- O fator de sedimentação para um mineral é definido como a razão das velocidades terminais ( $v$ ) de duas partículas do mesmo mineral, de mesmo tamanho, mas de formas diferentes; a primeira partícula sendo aquela para a qual se deseja calcular o fator de sedimentação ( $FS$ ), e a segunda partícula uma esfera.

## 2. Critério e eficiência de concentração gravítica

- De acordo com Burt, o critério de concentração (CC) pode ser muito útil se a forma das partículas for considerada; caso contrário, surpresas desagradáveis quanto à eficiência do processo podem se verificar na prática.
- As equações abaixo redefinem o critério de concentração, segundo a sugestão de Burt:

## 2. Critério e eficiência de concentração gravítica

$$CC = \left[ (\rho_p - 1) / (\rho_l - 1) \right] FRP$$

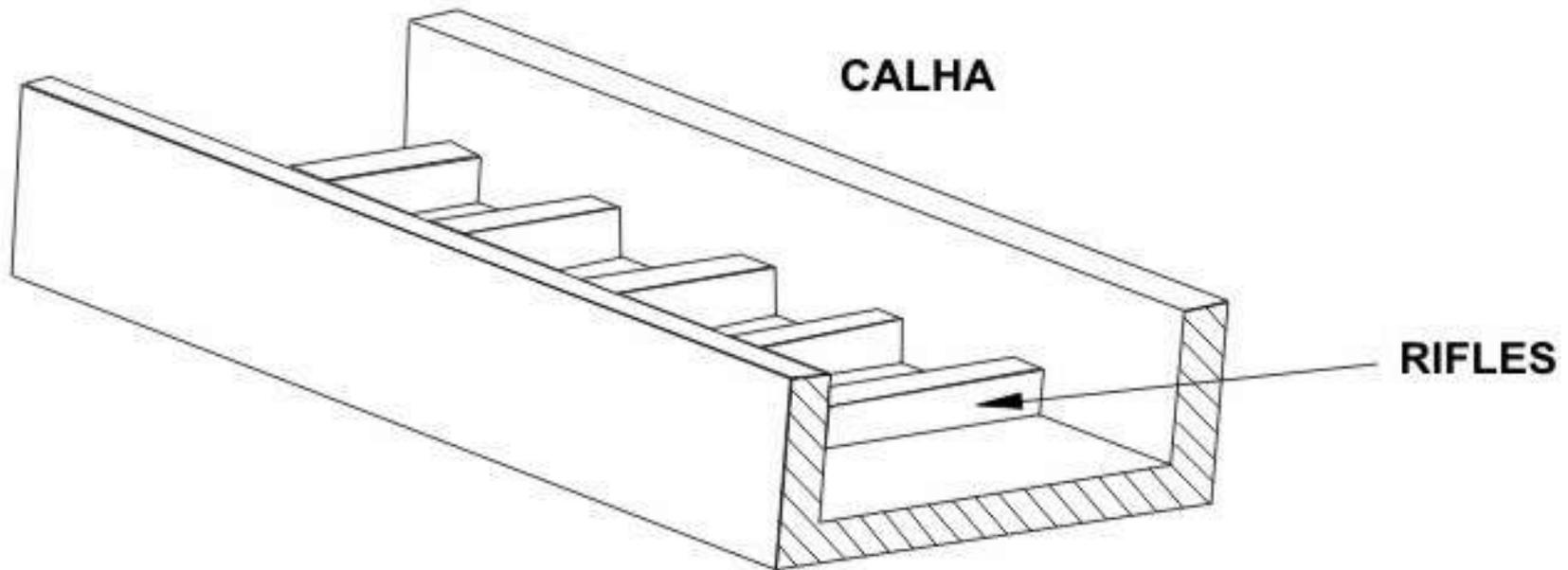
$$FRP = FS_p / FS_l$$

$$FS_p = \frac{v_p}{v_{p(esf.)}} \quad \text{e} \quad FS_l = \frac{v_l}{v_{l(esf.)}}$$

## 3. Equipamentos gravíticos

- Esta seção abordará os principais equipamentos gravíticos usados no processamento de minerais. São eles:
  - Calha (simples e estrangulada);
  - Concentrador Reichert;
  - Mesa plana;
  - Jigue;
  - Espiral de Humphreys;
  - Hidrociclone;
  - Concentrador centrífugo.

## 3.1. Calha simples



Seção transversal de uma calha simples e esquema de *rifle* húngaro (normalmente empregado)

## 3.1. Calha simples

- O uso da calha concentradora (do inglês **sluice box**) para o tratamento de cascalhos auríferos já era disseminado desde o século XVI, conforme atestou Agrícola, descrevendo vários modelos de calhas em seu trabalho "**De Re Metálica**" publicado em 1556.

## 3.1. Calha simples

- Uma calha consiste essencialmente de uma caneleta inclinada, feita normalmente de madeira e de seção transversal retangular.
- Inicialmente, no fundo da calha são instalados vários septos ou obstáculos (*riffles*), arranjados de modo a prover alguma turbulência e possibilitar a deposição das partículas pesadas, enquanto as leves e grossas passam para o rejeito.

## 3.1. Calha simples

- Atualmente, os obstáculos foram substituídos por **carpetes** que são mais eficientes para aprisionar as partículas de ouro.
- O minério alimenta a calha na forma de polpa diluída.

## 3.1. Calha simples

- O pré-concentrado é removido manualmente da calha após interrupção ou desvio da alimentação, em alguns casos, requerendo um tratamento adicional de limpeza em outro equipamento de menor capacidade.

## 3.1. Calha simples

- As calhas simples são usadas para o beneficiamento de minério com faixa granulométrica muito ampla e onde o mineral valioso é de tamanho médio e grosso.
- A quantidade de água e a inclinação são reguladas para que os seixos passem, por rolamento, sobre os *riffles*.

## 3.1. Calha simples

- O cascalho grosso é transportado ao longo das calhas por deslizamento e rolamento por sobre os *riffles*, enquanto o cascalho fino move-se em curtos saltos logo acima dos *riffles*.
- As areias sedimentam nos espaços entre os *riffles*.

## 3.1. Calha simples

- No caso de concentração de ouro fino, para recuperação mais eficiente, é recomendável um fluxo menor, implicando em calhas mais largas.
- Versões em miniatura dos *riffles* húngaros podem ser usadas, embora seja mais comum a utilização de revestimento de carpete, borracha natural ou tecido grosso, coberto por uma tela metálica expandida com a função dos *riffles*.



All Wood

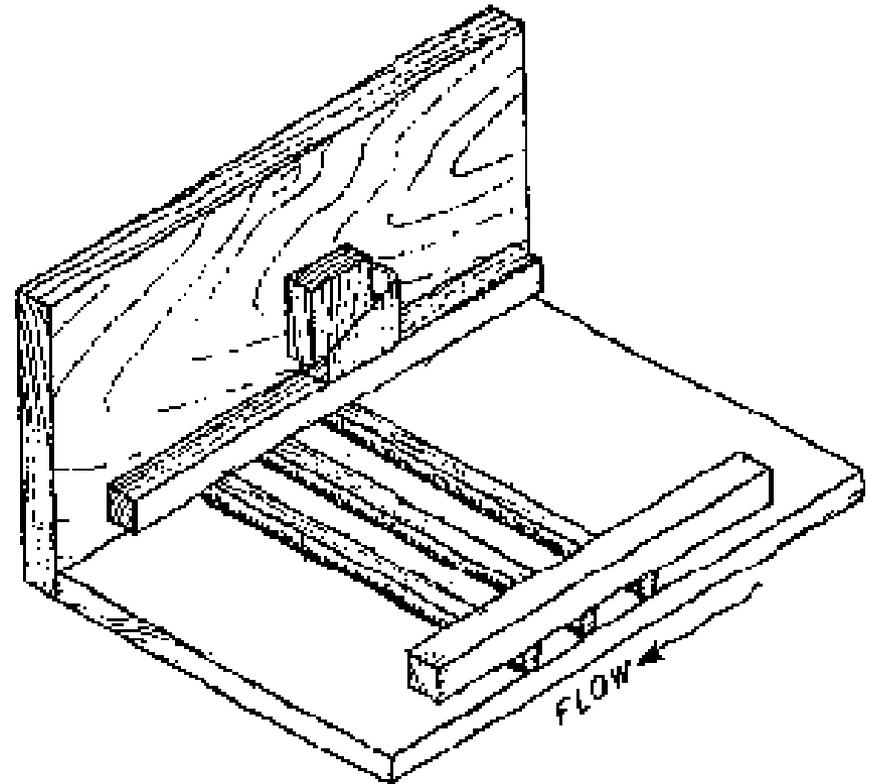


Metal

Wood with Metal Top



Angle Iron



02/12/2012



Concentração física de minerais -  
3. Concentração gravítica

02/12/2012



Concentração física de minerais -  
3. Concentração gravítica

## 3.2. Calha estrangulada

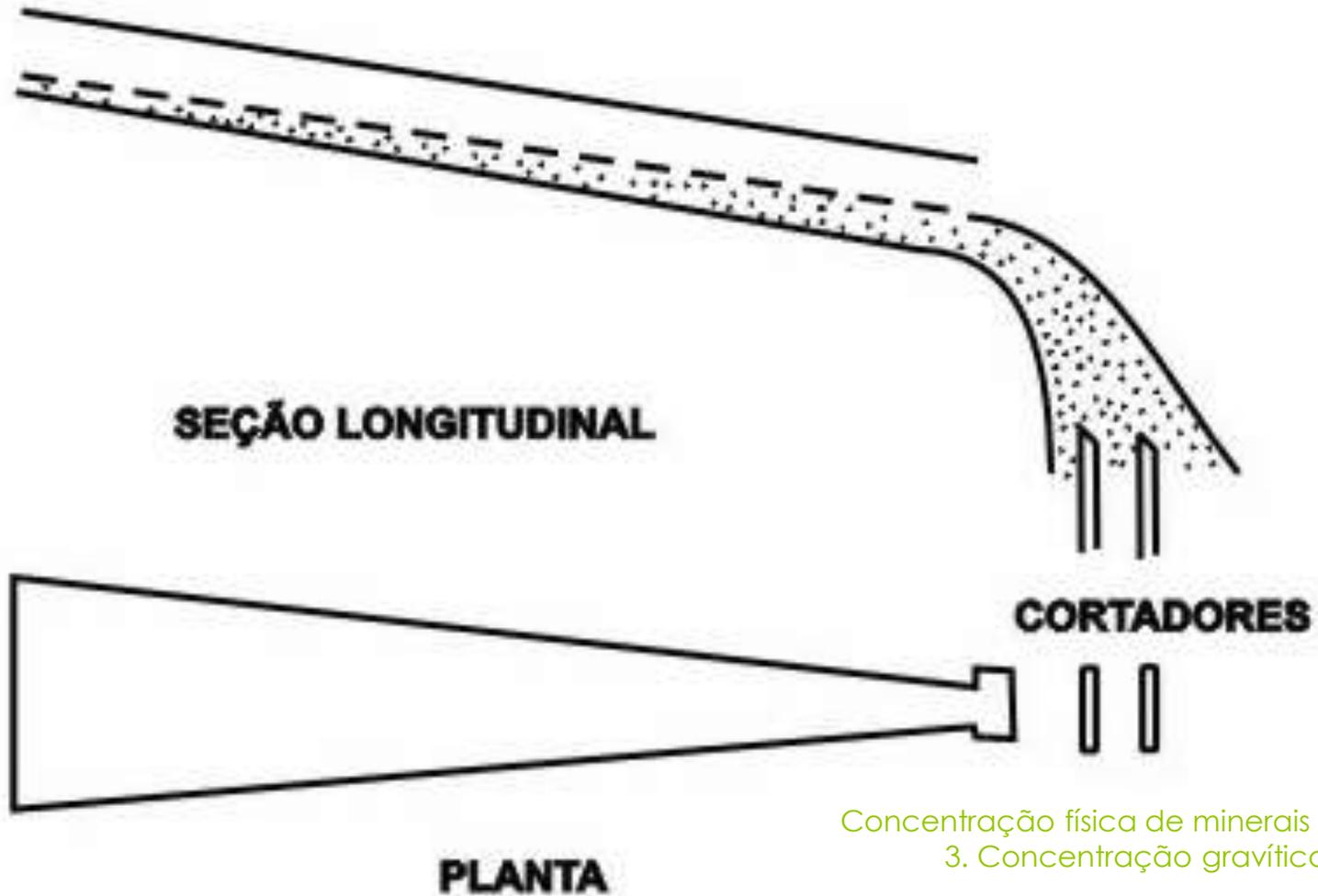
- As calhas estranguladas (***pinched sluice***) diferem da calha com *riffles* em dois aspectos:
  - Na calha estrangulada o fundo é regular (desprovido de *riffles*) e
  - A remoção do concentrado é contínua.

## 3.2. Calha estrangulada

- Uma calha estrangulada típica consiste de um canal inclinado que decresce em largura (“se estrangula”) no sentido do fluxo.
- A polpa, com alta porcentagem de sólidos, é alimentada na parte mais larga da calha em um fluxo relativamente laminar, ocorrendo uma variação de velocidade de modo que as partículas finas e pesadas se concentram na parte inferior do fluxo, por meio de uma combinação de **sedimentação retardada** e **consolidação intersticial**.

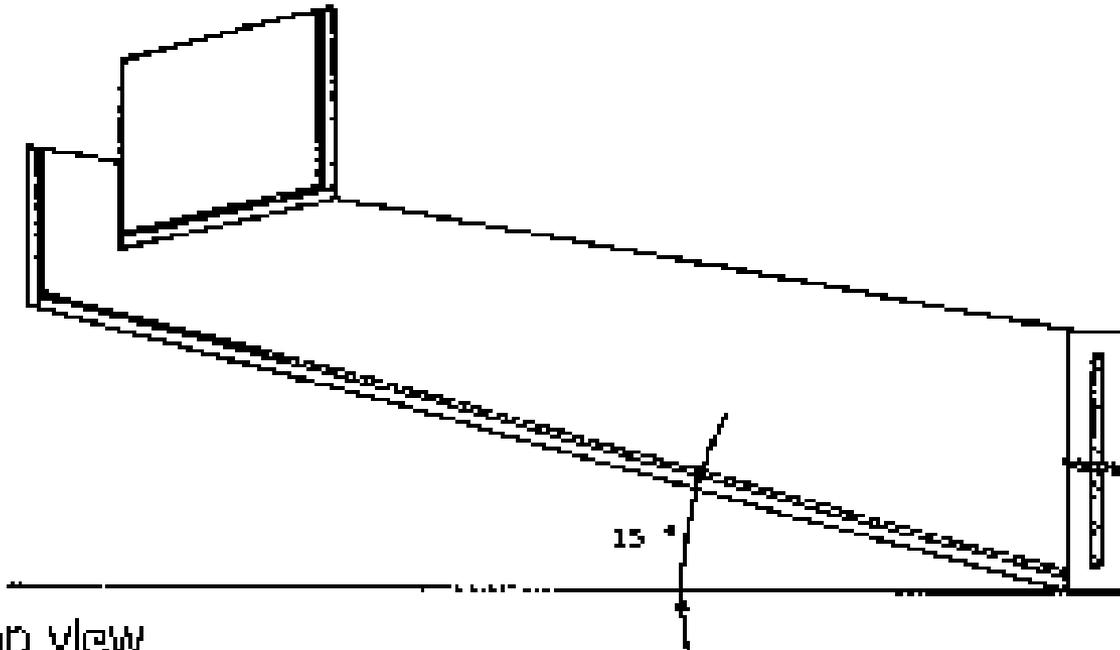
## 3.2. Calha estrangulada

- Na calha estrangulada normal, a diminuição da largura resulta em um aumento da espessura do leito da polpa e naturalmente facilita a separação entre os minerais leves e pesados.
- No final da calha, a camada inferior do fluxo, de movimento mais lento e enriquecida com minerais pesados, é separada das camadas superiores por um cortador ajustado adequadamente.

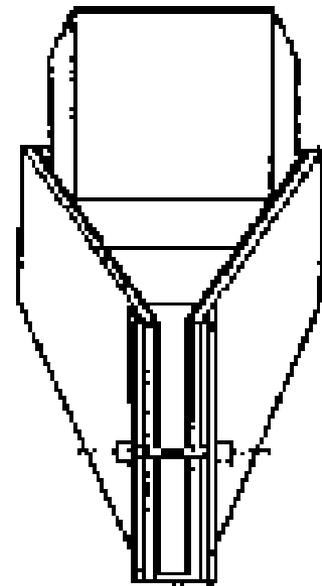


Concentração física de minerais -  
3. Concentração gravítica

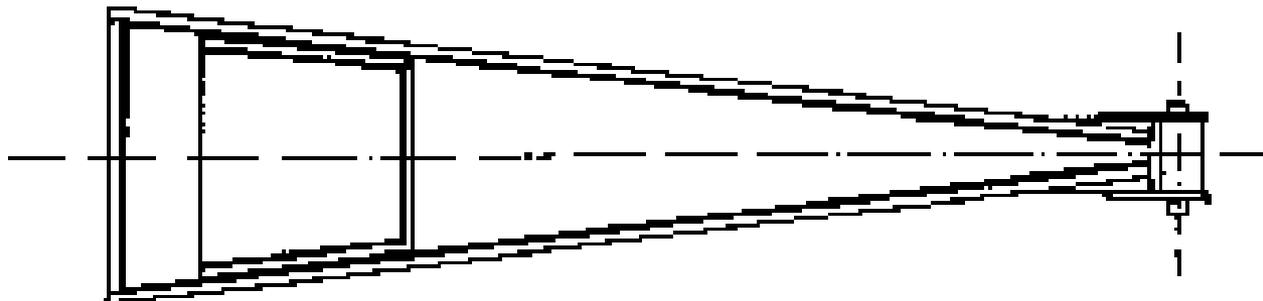
side view



front view



top view



## 3.2. Calha estrangulada

- A calha estrangulada é um equipamento relativamente ineficiente, pois, apesar de boa recuperação, a razão de enriquecimento em uma passagem é pequena, requerendo-se, portanto, múltiplas passagens para a obtenção de um concentrado com teor alto.

## 3.3. Concentrador Reichert

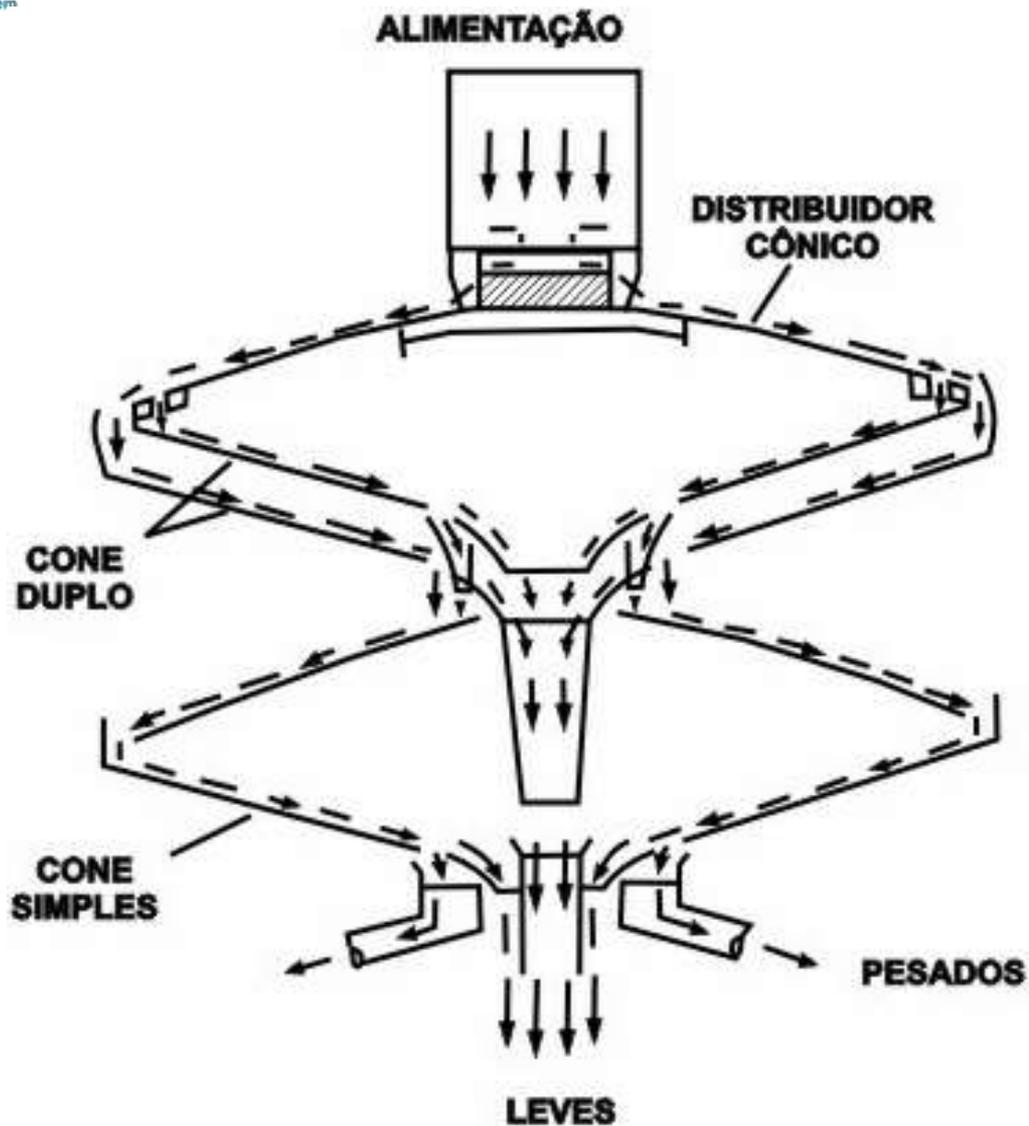
- Ernst Reichert, trabalhando para a Mineral Deposits Ltd., Australia, concluiu que uma grande deficiência nas calhas estranguladas era o efeito da parede lateral, concebendo, então, um equipamento sem paredes, ou um cone invertido.

## 3.3. Concentrador Reichert

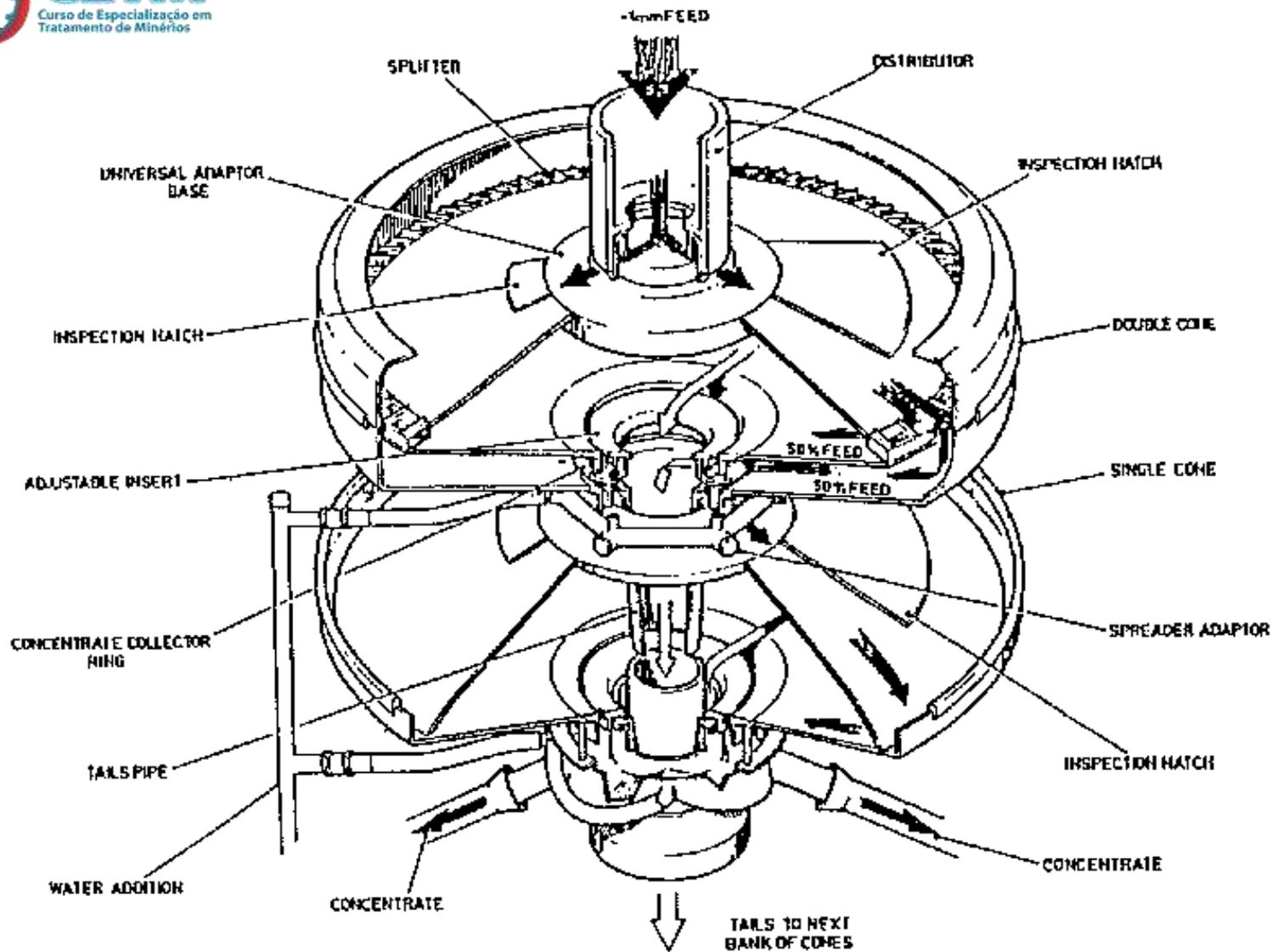
- Desenvolvido no início dos anos 60 com um ou dois cones operando em série, já nos anos 70 a unidade padrão de um concentrador Reichert era composta de multi-estágios, com até oito cones duplos e simples; sua aplicação também foi além dos minerais pesados de areias de praia, incluindo minérios de ferro, estanho, ouro etc.

## 3.3. Concentrador Reichert

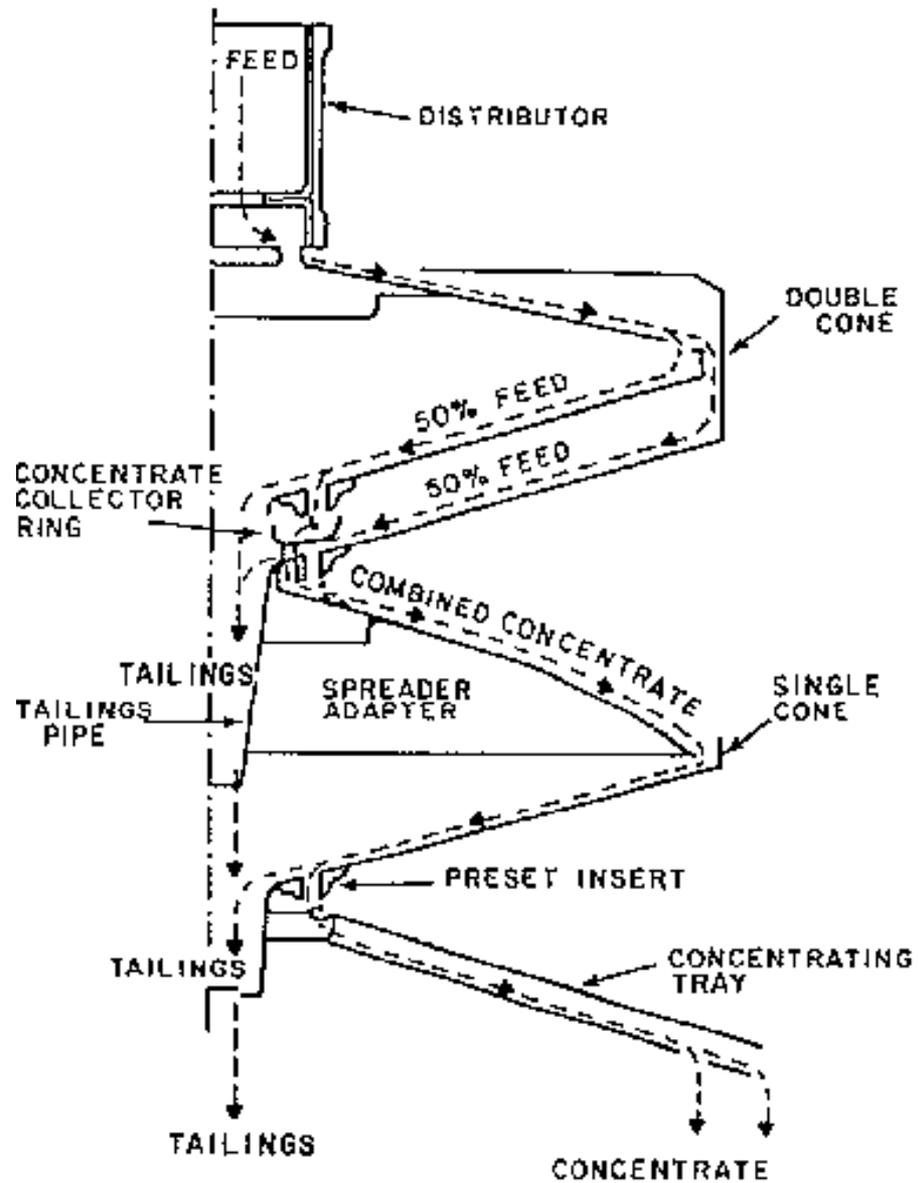
- O concentrador Reichert consiste de uma série de cones invertidos sobrepostos por distribuidores cônicos, arranjados verticalmente e empregando várias combinações de cones simples.
- A figura abaixo ilustra um cone duplo seguido de um cone simples.



**Cone Reichert**



**Cone Reichert**





## 3.3. Concentrador Reichert

- A alimentação é feita homogeneamente sobre a superfície do distribuidor cônico; nenhuma concentração ocorre nesta etapa.
- Quando a polpa flui no cone concentrador em direção ao centro, a espessura do leito cresce devido à menor seção transversal.

## 3.3. Concentrador Reichert

- No ponto de remoção do concentrado, por uma abertura anular regulável, a espessura do leito é cerca de quatro vezes àquela da periferia do cone.
- Os minerais mais densos tendem a permanecer próximos à superfície, formando uma camada estratificada.

## 3.3. Concentrador Reichert

- Já as partículas leves passam por sobre a abertura anular e são conduzidas a uma tubulação central que alimenta outro estágio de cones.
- Os cones são fabricados com material leve (poliuretano, fibra de vidro).

## 3.3. Concentrador Reichert

- O concentrador é montado em estrutura metálica, circular, com altura variável, dependendo do número de estágios.
- O diâmetro típico do cone é de 2 m, estando em desenvolvimento unidades com 3 a 3,5 m, este último apresentando capacidade três vezes maior que o cone de 2 m.

## 3.3. Concentrador Reichert

- Os cones apresentam um ângulo de inclinação fixo de  $17^\circ$ .
- Até o tamanho máximo de partícula de 2 mm não há interferência no regime do fluxo, entretanto, o máximo tamanho a ser efetivamente concentrado é 0,5 mm.

## 3.3. Concentrador Reichert

- O limite inferior é cerca de 50  $\mu\text{m}$ , embora em certas condições este limite possa ser menor.
- Os mecanismos de separação das calhas e cones fazem com que os pesados finos sejam preferencialmente recuperados em relação aos pesados grossos.

## 3.3. Concentrador Reichert

- Por isso, são mais apropriados aos minérios aluvionares e areias de praia, uma vez que os minerais valiosos são significativamente mais finos que os minerais leves.
- Para minérios submetidos à moagem é recomendável uma classificação prévia.

## 3.3. Concentrador Reichert

- A presença de ***lama coloidal*** aumenta a viscosidade da polpa e deve ser mantida a menos de 5% para uma operação eficiente.
- A percentagem de sólidos da polpa é um fator crítico, devendo ser controlada em  $\pm 2\%$  do valor ótimo, que se situa normalmente entre 55% e 65% de sólidos em peso.

## DEFINIÇÃO DAS PARTÍCULAS

Parâmetro	Colóide	Pó	Grânulo
Tamanho ( $\mu\text{m}$ )	<1	1-44	>44
$F_A \times F_W^*$	$F_A \gg F_W$	$F_A = F_W$	$F_A \ll F_W$
Escoabilidade	Muito baixa	Baixa	Boa
Aglomeração	Espontânea	Espontânea	Mínima
Adsorção	Alta	Média	Baixa

\*  $F_A$ : Força de atração de van der Waals;  $F_W$ : Força peso

## 3.3. Concentrador Reichert

- Os valores baixos são indicados quando a distribuição granulométrica dos pesados é similar à dos leves.
- Para percentagem de sólidos elevada, a viscosidade da polpa aumenta, dificultando a separação dos pesados mais finos.

## 3.3. Concentrador Reichert

- A taxa de alimentação também deve ser bem controlada.
- Para uma determinada abertura anular do cone, a quantidade de concentrado recuperado é praticamente invariável, dentro de certos limites de alimentação.

## 3.3. Concentrador Reichert

- Assim, um aumento na alimentação implicará em menor recuperação dos minerais pesados, enquanto uma diminuição na taxa acarretará um menor teor de concentrado.
- A capacidade típica de uma unidade concentradora é de 60 a 90 t/h.

## 3.3. Concentrador Reichert

- Sua aplicação em aluviões auríferos é recomendada em usinas de grande porte e com bom controle operacional.
- Devida à grande capacidade, há uma tendência à sua utilização nos circuitos de moagem de sulfetos para recuperação de ouro (ex. Boliden AB, na Suécia).

## 3.3. Concentrador Reichert

- Similarmente, sua aplicação a minérios de ouro livre e minérios complexos é promissora.
- Outro emprego promissor do concentrador Reichert seria na recuperação de partículas mistas de ouro de rejeitos de flotação.

## 3.3. Concentrador Reichert

- Apesar desse equipamento (uma variação da calha estrangulada) apresentar uma recuperação próxima à da mesa oscilatória, além de uma alta capacidade, as razões de concentração e enriquecimento (tipicamente 3 a 5) são inferiores às obtidas em jigues e mesas, sendo normalmente necessárias várias etapas de concentração.

## 3.4. Mesa plana

- A mesa plana (***plane table***) também denominada de mesa fixa ou mesa estática, foi concebida e primeiramente empregada em 1949 na empresa Rand Lease Gold Mine, na África do Sul, para recuperar partículas de ouro.

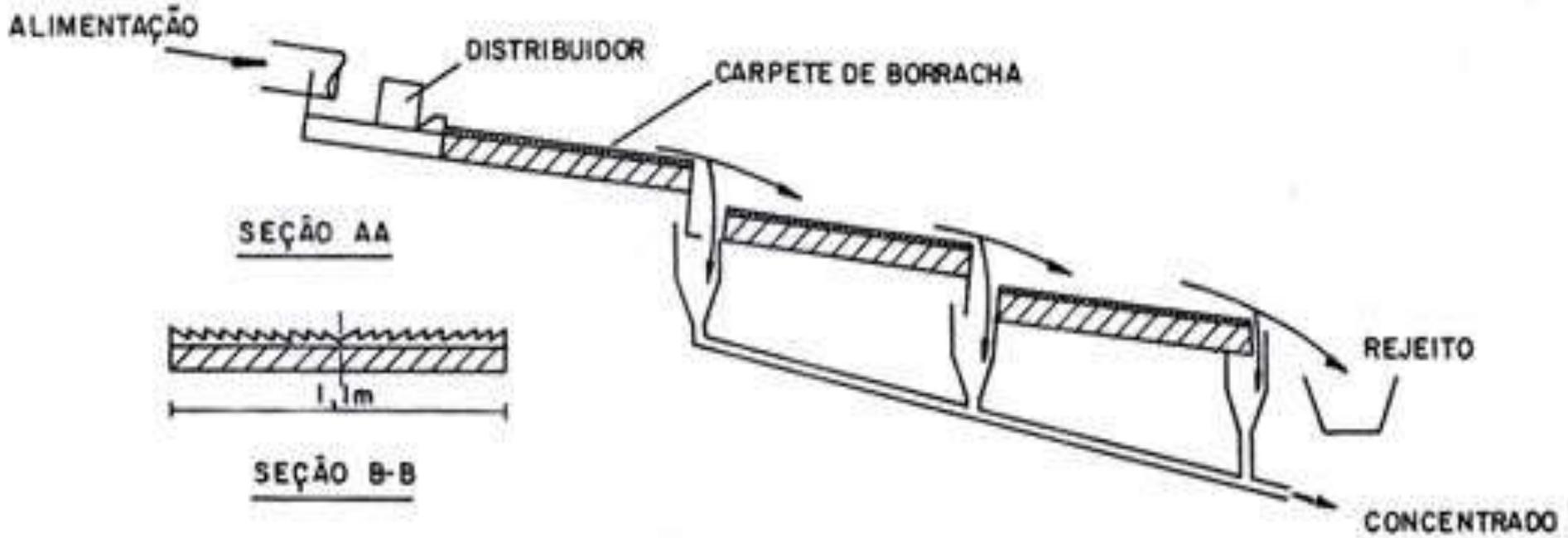
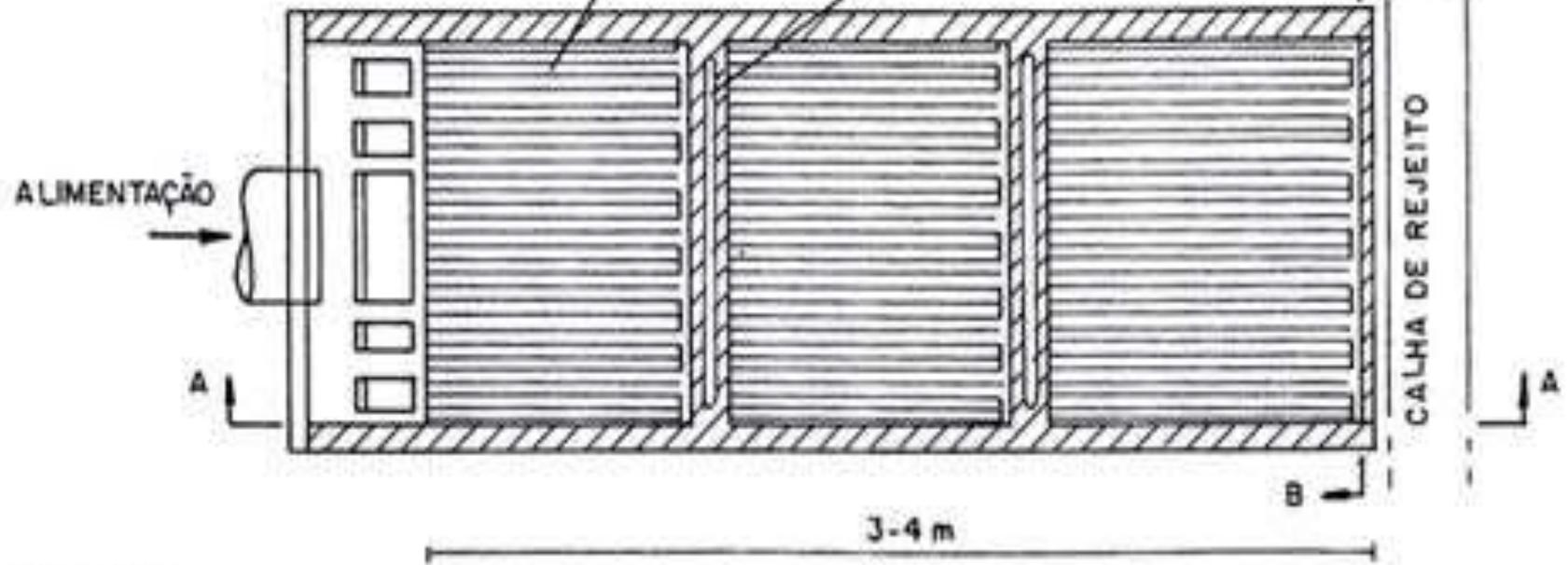
## 3.4. Mesa plana

- Este equipamento consiste de uma mesa inclinada coberta com tapete de borracha com sulcos longitudinais, em forma de "V", paralelos aos lados da mesa e na direção do fluxo de polpa.
- No final de cada mesa (normalmente há três seções em seqüência) existe uma abertura regulável e transversal ao fluxo de polpa.

## 3.4. Mesa plana

- Os minerais mais densos e o ouro movimentam-se próximos à superfície, percorrendo os sulcos longitudinais, e são recolhidos continuamente naquela abertura.
- A parte majoritária da polpa passa para a mesa plana seguinte, havendo oportunidade de se recuperar mais partículas de ouro.

CARPETE DE BORRACHA ABERTURA P/ REMOÇÃO DE CONCENTRADO



## 3.4. Mesa plana

- A função dos sulcos no tapete de borracha é proteger as partículas pequenas e pesadas já sedimentadas, que percorrem estes sulcos, dos grãos maiores e leves que se movimentam com maior velocidade na parte mais superior do fluxo de polpa.

## 3.4. Mesa plana

- A mesa plana é às vezes classificada como uma calha estrangulada, embora rigorosamente não o seja.
- No entanto, como o concentrado flui nas camadas inferiores do leito de polpa e é separado continuamente das camadas superiores, justifica-se sua inclusão nesta categoria.

## 3.4. Mesa plana

- Além disso, o mecanismo de ação dos sulcos longitudinais em "V" guarda uma certa semelhança com o estrangulamento de uma calha típica, uma vez que também há uma redução na largura efetiva da camada inferior do leito e, conseqüentemente, aumento da sua profundidade, com a vantagem de manter a mesma largura na superfície do leito, resultando em maior capacidade unitária que uma calha típica.

## 3.4. Mesa plana

- O comprimento total da mesa, dado pelo número de seções, é função da recuperação desejada.
- A largura usual é em torno de 1,0 m, sendo freqüente considerar que a mesa plana apresenta uma capacidade de 60 t/h por metro de largura.

## 3.4. Mesa plana

- A distância vertical entre cada seção é de aproximadamente 8 cm, enquanto o afastamento entre as mesmas, regulável, é cerca de 2,5 cm.
- Valores típicos para as dimensões dos sulcos em "V" são: 3,2 mm de largura máxima, 3,0 mm de profundidade e 3,2 mm de distância entre os sulcos.

## 3.4. Mesa plana

- Definidas as dimensões da mesa, as variáveis inclinação e percentagem de sólidos da polpa são as mais importantes.
- A inclinação oscila normalmente entre 8 e 10°.

## 3.4. Mesa plana

- A percentagem de sólidos em peso geralmente está entre 60 e 70% e corresponde à percentagem de sólidos da descarga de um moinho, que é o material que de modo geral é a alimentação da mesa plana.

## 3.4. Mesa plana

- A utilização da mesa plana em diversas usinas da África do Sul dá-se na descarga do moinho secundário.
- O concentrado da mesa plana é submetido a etapas de limpeza em mesa oscilatória ou concentrador de correia.
- Os rejeitos retornam ao circuito de moagem.

## 3.4. Mesa plana

- A cianetação ou a flotação geralmente complementa o circuito, tratando o *overflow* dos ciclones.
- No Brasil as únicas aplicações conhecidas ocorreram nas unidades industriais da Mineração Morro Velho em Jacobina-BA e em Nova Lima-MG (Projeto Cuiabá/Raposos) e na São Bento Mineração em MG.

## 3.4. Mesa plana

- Em Jacobina, a mesa plana era alimentada pela descarga do moinho semi-autógeno e o concentrado da mesa plana passava por limpeza em mesa oscilatória, cujo concentrado apresentava cerca de 20% de ouro, com recuperação em torno de 50% do ouro alimentado na usina.
- O concentrado seguia direto para a etapa de fusão.

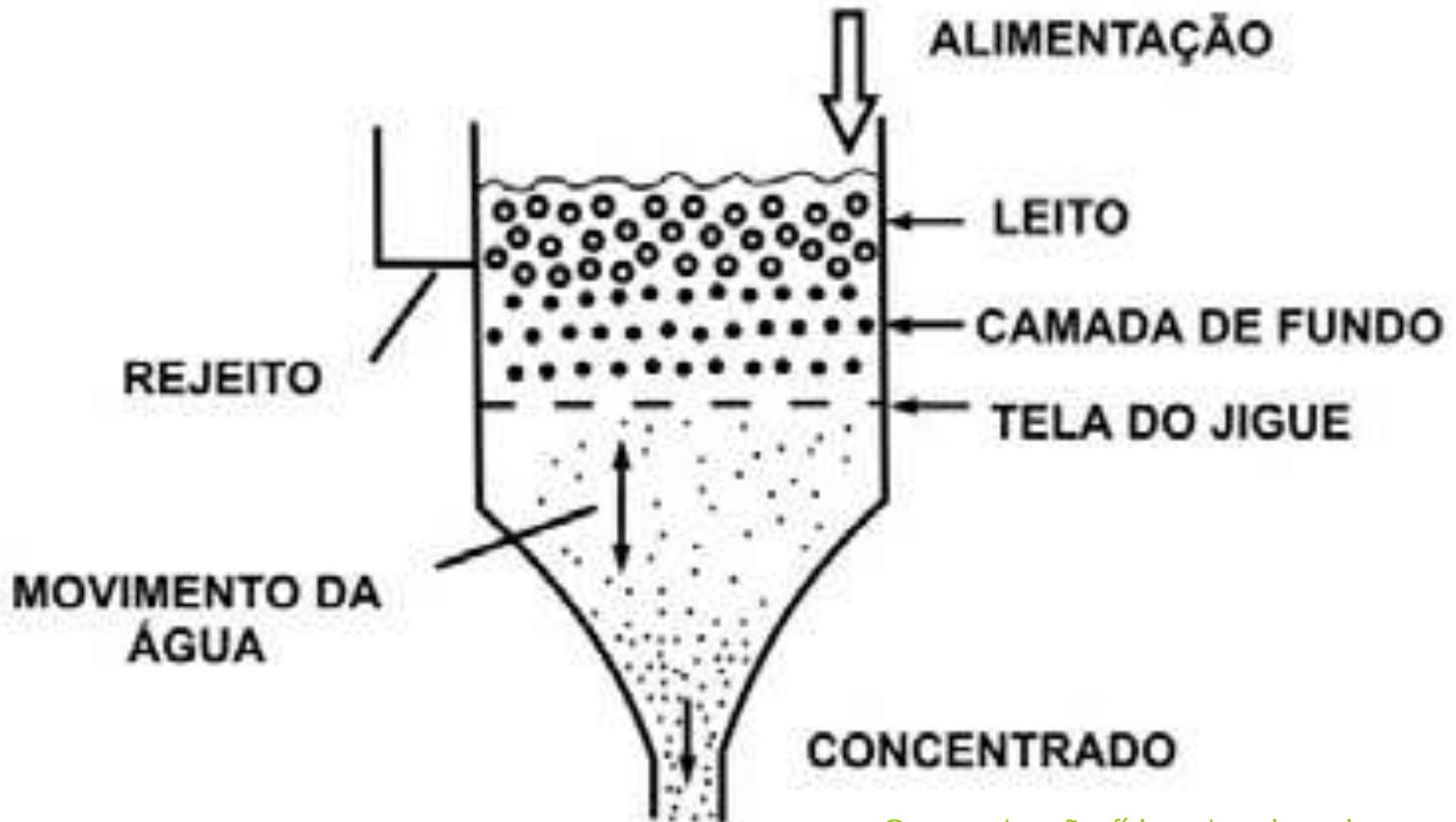
## 3.4. Mesa plana

- As características deste equipamento, como alta razão de concentração, alta capacidade, baixo custo de investimento (normalmente é construído na própria usina), e baixos custos operacionais e de manutenção, faziam com que a mesa plana tivesse grande potencial de aplicação no Brasil para minérios auríferos; no entanto, tal potencial não se concretizou.

## 3.5. Jigue

- O processo de jigagem é provavelmente o método gravítico de concentração mais complexo, por causa de suas contínuas variações hidrodinâmicas.
- Nesse processo, a separação dos minerais de densidades diferentes é realizada em um leito dilatado por uma corrente pulsante de água, produzindo a estratificação dos minerais.

## Esquema simplificado de um jigue

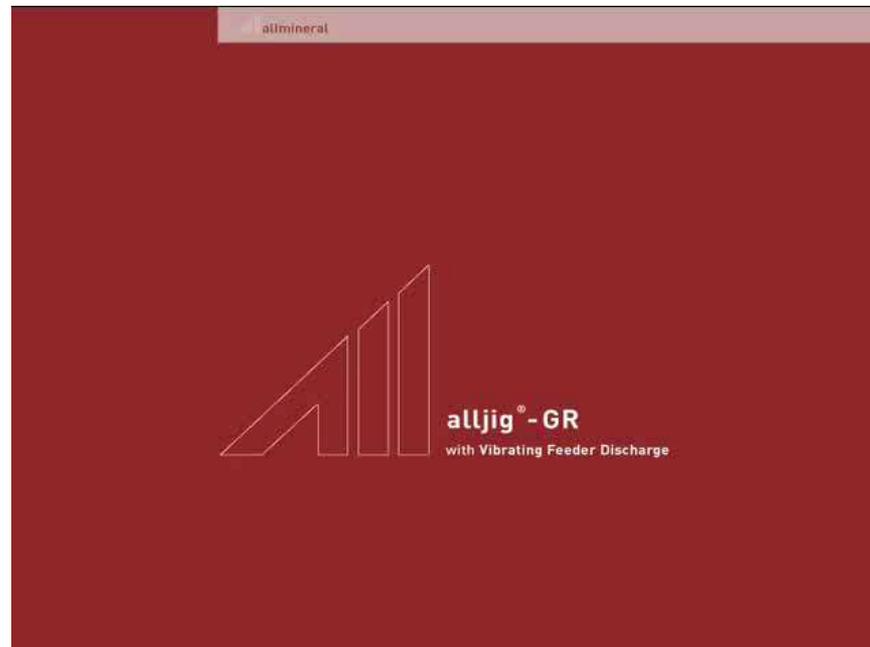


Concentração física de minerais -  
3. Concentração gravítica



Concentração física de minerais -  
3. Concentração gravítica

## 3.5. Jigue



Concentração física de minerais -  
3. Concentração gravítica

02/12/2012

alljig®

Concentração física de minerais -  
3. Concentração gravítica

Gaustec

02/12/2012

Concentração física de minerais -  
3. Concentração gravítica

Gaustec

02/12/2012

Concentração física de minerais -  
3. Concentração gravítica

Gaustec

02/12/2012

Concentração física de minerais -  
3. Concentração gravítica

Gaustec

02/12/2012



Concentração física de minerais -  
3. Concentração gravítica

## 3.5. Jigue

- Existem duas abordagens para a teoria de jigagem, a clássica ou hidrodinâmica (a qual iremos nos ater aqui) e a teoria do centro de gravidade.
- O conceito clássico considera o movimento das partículas, cuja descrição típica foi feita por Gaudin, que sugeriu três mecanismos:

## 3.5. Jigue

- Sedimentação retardada;
  - Aceleração diferencial e
  - Consolidação intersticial.
- 
- Grande parte da estratificação supostamente ocorre durante o período em que o leito está aberto, dilatado, e resulta da **sedimentação retardada**, acentuada pela **aceleração diferencial**.

## 3.5. Jigue

- Estes mecanismos colocam os grãos finos/leves em cima e os grossos/pesados no fundo do leito.
- A **consolidação intersticial**, durante a sucção, põe as partículas finas/pesadas no fundo e as grossas/leves no topo do leito.

## 3.5. Jigue

- Os efeitos de impulsão e sucção, se ajustados adequadamente, devem resultar em uma estratificação quase perfeita, segundo a densidade dos minerais.
- Os jigues são classificados de acordo com a maneira pela qual se efetua a dilatação do leito.

## 3.5. Jigue

- Nos jigues de tela móvel, já obsoletos, a caixa do jigue move-se em tanque estacionário de água (ex.: jigue Hancock).
- Os jigues de tela (ou crivo) fixa, nos quais é a água que é submetida ao movimento, são sub-classificados segundo o mecanismo de impulsão da água.

## 3.5. Jigue

- Nestes, a tela, na maioria dos casos, é aberta, o que significa que o concentrado passa através da mesma.
- O jigue de diafragma tipo Denver é o representante mais conhecido dessa subclasse.

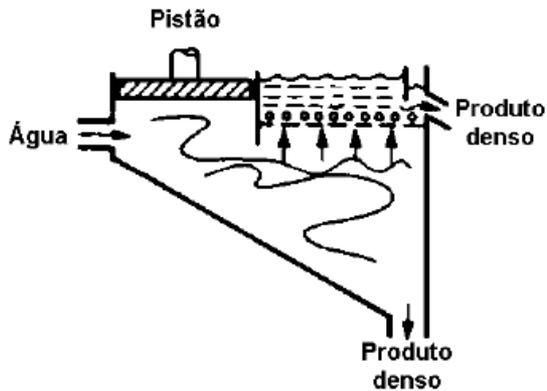
## 3.5. Jigue

- O impulso da água é causado pelo movimento recíproco de um êmbolo com borda selada por uma membrana flexível que permite o movimento vertical sem que haja passagem da água pelos flancos do mesmo.
- Este movimento se faz em um compartimento adjacente à câmara de trabalho do jigue e resulta da ação de um eixo excêntrico.

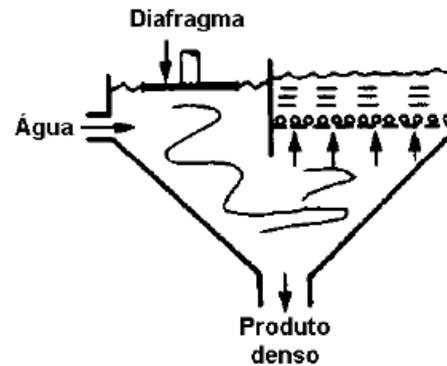
## 3.5. Jigue

- No jigue Denver original há uma válvula rotativa comandada pelo excêntrico que só dá passagem à entrada de água na câmara durante o movimento de ascensão do diafragma, ou seja, atenua o período de sucção do leito, melhorando as condições para que haja a sedimentação retardada das partículas através de um leito menos compactado.

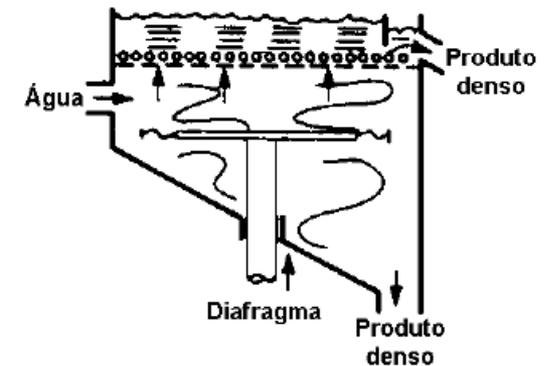
Condição do crivo	Mecanismo de pulsação	Separação dos produtos	Tipo*	Aplicações mais comuns
Crivo fixo	Mecânico – pistão	Sobre o crivo	Harz	Carvão
		Através do crivo	COOLEY, COLLOM	Minérios
			Centrífugo (Kelsey e Altair)	Minérios
	Mecânico – Diafragma	Sobre o crivo	Bendelari	Minérios
			JEFFREY	Carvão
		Através do crivo	Denver	Minérios
			Wemco/Remer	Minérios
			Yuba	Minérios
			Pan-American Placer	Minérios
	Pneumático	Sobre o crivo	Baum (McNALLY, ALLJIG)	Carvão, minérios
			Batac/Tacub (KHD, APIC, KOPEX)	Carvão, minérios, materiais secundários
		Através do crivo	Feldspato (KHD)	Carvão
Crivo móvel	Mecânico – Crivo móvel	Sobre o crivo	HALKYN, JAMES	Minérios
			WILMOT PAN	Carvão
			Jigue de Rom (KHD)	Carvão
	Através do crivo	Hancock	Minérios	
		Pressurizado (IPJ)	Minérios	



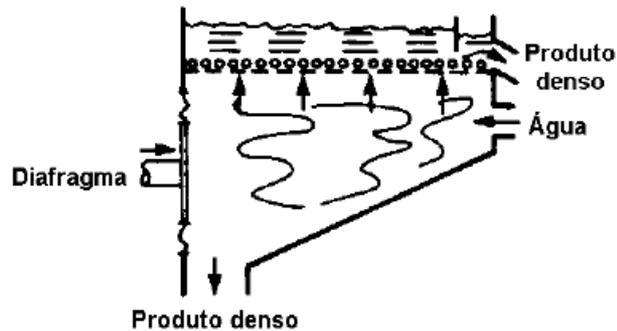
Jigue Harz



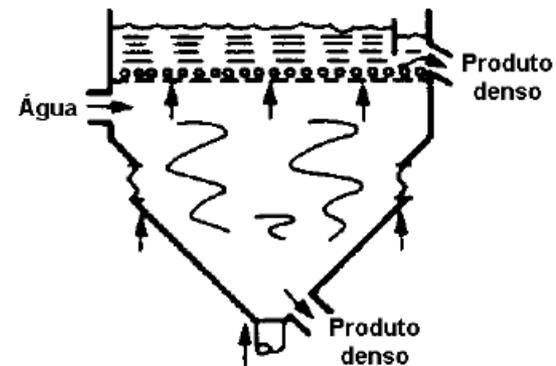
Jigue Denver



Jigue Bendelari

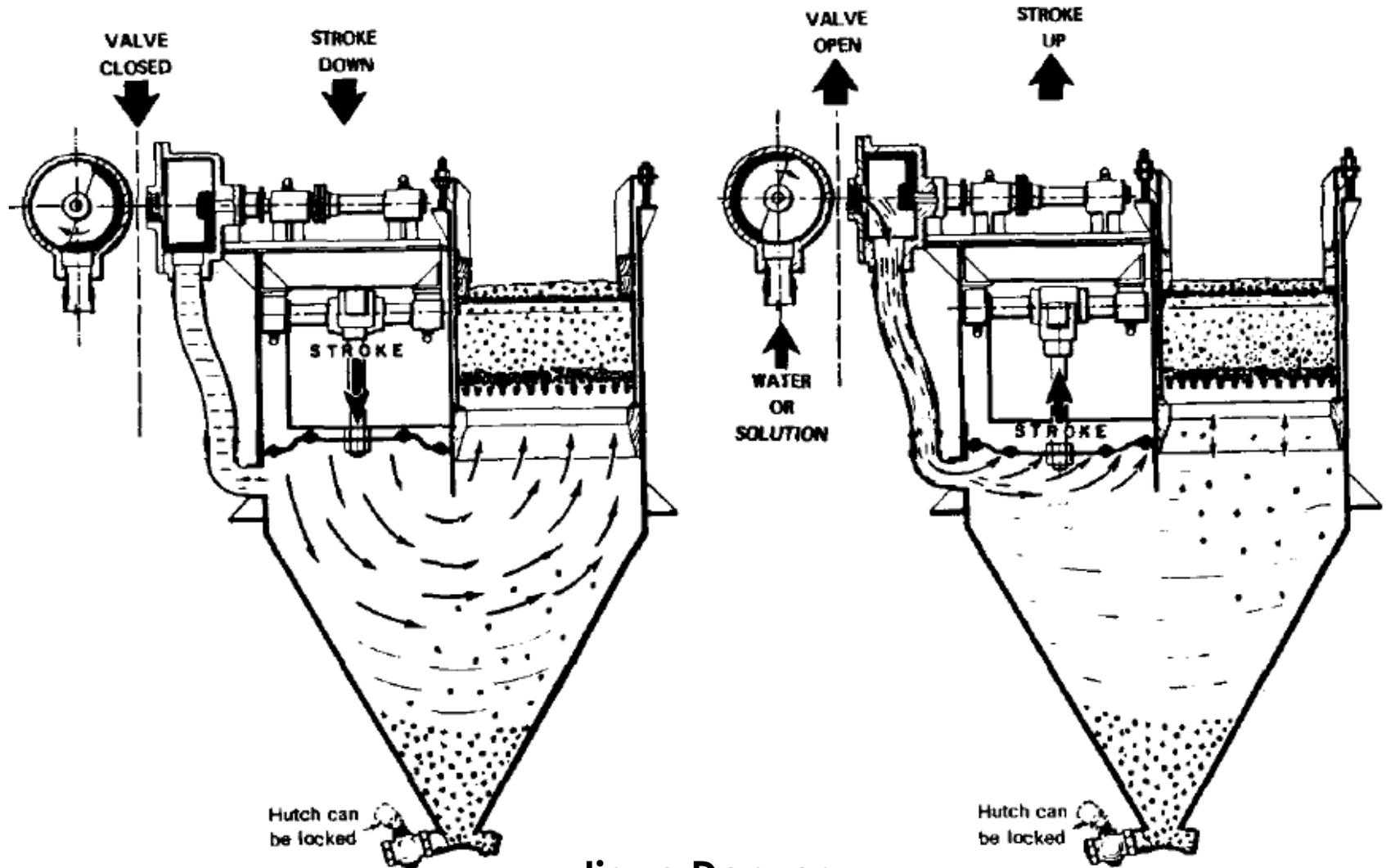


Jigues Yuba e IHC



Jigues Remer e Pan-American

## Jigues de pistão ou diafragma



Jigge Denver

## 3.5. Jigue

- No entanto, em casos de minérios com finos valiosos, a recuperação dependerá de um período de sucção acentuado (***consolidação intersticial***).
- As chances de se obter um concentrado mais impuro, no entanto, aumentam, uma vez que as partículas finas e leves passam a ter maior oportunidade de um movimento descendente intersticial.

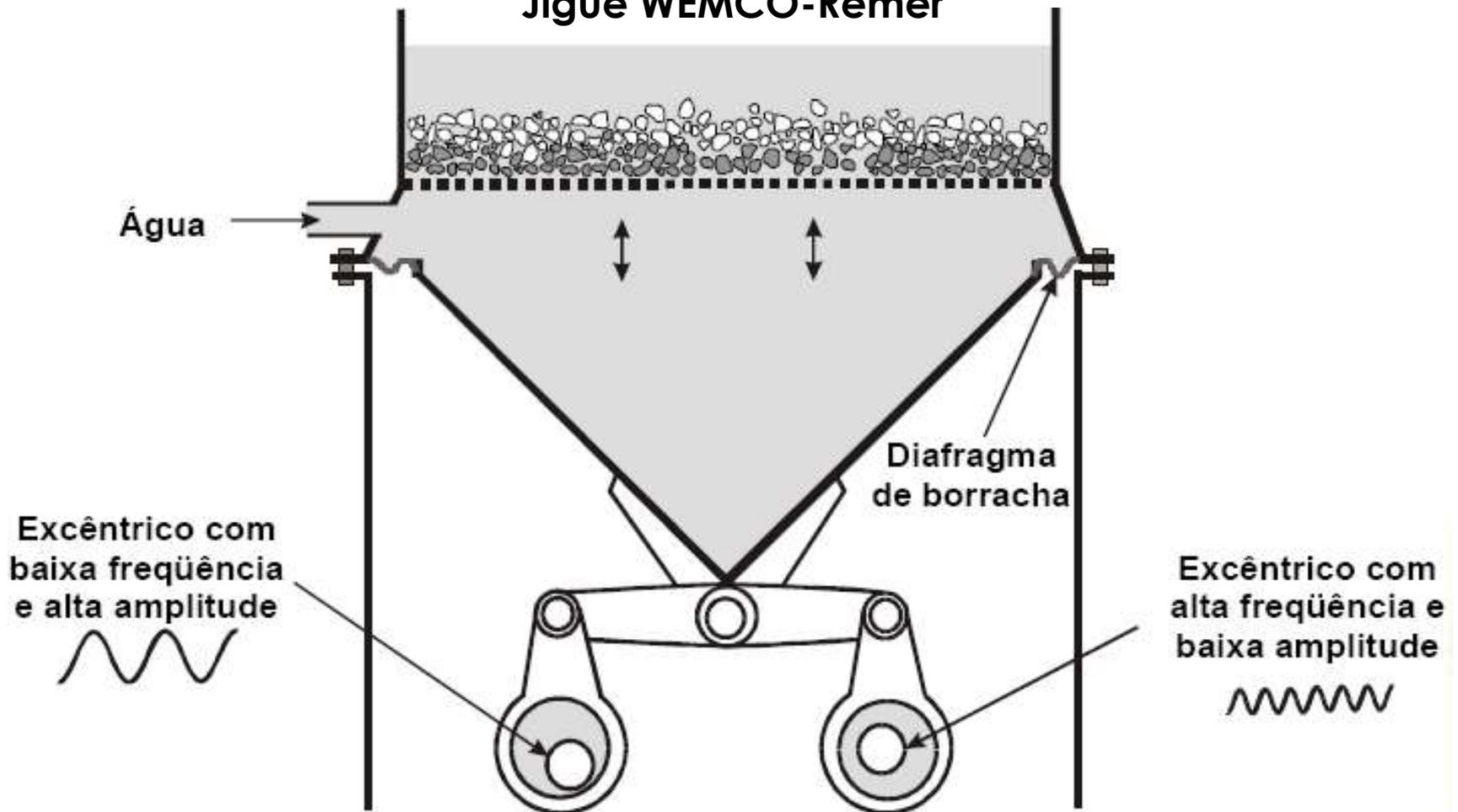
## 3.5. Jigue

- O jigue tipo Denver é geralmente utilizado no Brasil na jigagem terciária de minérios aluvionares auríferos e de cassiterita ou na etapa de apuração, que seria a etapa final de concentração.
- Os jigues tipo Denver fabricados no Brasil não possuem válvula rotativa para admissão de água, sendo portanto mais apropriados à recuperação dos finos pesados.

## 3.5. Jigue

- Nos jigues tipo Yoda, o diafragma se movimenta na parede da câmara.
- No jigue Pan-Americana e/ou nos Rever, o diafragma se situa diretamente embaixo da câmara, movimentando-se verticalmente.

## Jigge WEMCO-Remer



Concentração física de minerais -  
3. Concentração gravítica

## 3.5. Jigue

- Esses jigues são bastante empregados na concentração primária e secundária de aluviões, no Brasil e na América do Norte, em instalações fixas ou móveis, ou em dragas.
- Na África do Sul, o jigue Yoda é empregado em algumas instalações no circuito de moagem, para recuperar a pirita já liberada e partículas de ouro; os concentrados dos jigues contêm de 20 a 40% da pirita do minério, com teor de 38% deste mineral e 25 a 35% do ouro livre.

## 3.5. Jigue

- Pode-se citar ainda o jigue que tem a secção de trabalho trapezoidal, ao invés de retangular, como é comum nos jigues mencionados anteriormente.
- O jigue trapezoidal é utilizado freqüentemente na concentração secundária de aluviões auríferas e de cassiterita.

## 3.5. Jigue

- A abertura da tela do jigue deve ser entre duas e três vezes o tamanho máximo das partículas do minério.
- Como dimensão média das partículas da camada de fundo (*ragging*), natural ou artificial, deve-se tomar aquela igual ao dobro da abertura da tela, e com variações nessas dimensões, não sendo recomendável uma camada de fundo de um só tamanho.

## 3.5. Jigue

- As condições do ciclo de jigagem devem ser ajustadas para cada caso, citando-se apenas como diretriz que ciclos **curtos** e **rápidos** são apropriados a materiais **finos**, o contrário para os grossos.

## 3.5. Jigue

- Uma variável importante é a água de processo, que é introduzida na arca do jigue, sob a tela.
- Não deve haver alteração no fluxo dessa água, pois perturba as condições de concentração no leito do jigue.

## 3.5. Jigue

- É recomendável que as tubulações de água de processo para cada jigue, ou mesmo para cada câmara do jigue, sejam alimentadas separadamente a partir de um reservatório de água, por gravidade.
- É comum, no entanto, que as instalações gravíticas no Brasil não dispensem a devida atenção a esse aspecto.

## 3.6. Mesa oscilatória

- A mesa oscilatória típica consiste de um deque de madeira revestido com material com alto coeficiente de fricção (borracha ou plástico), parcialmente coberto com ressaltos, inclinado e sujeito a um movimento assimétrico na direção dos ressaltos, por meio de um mecanismo que provoca um aumento da velocidade no sentido da descarga do concentrado e uma reversão súbita no sentido contrário, diminuindo suavemente a velocidade no final do curso.



Concentração física de minerais -  
3. Concentração gravítica

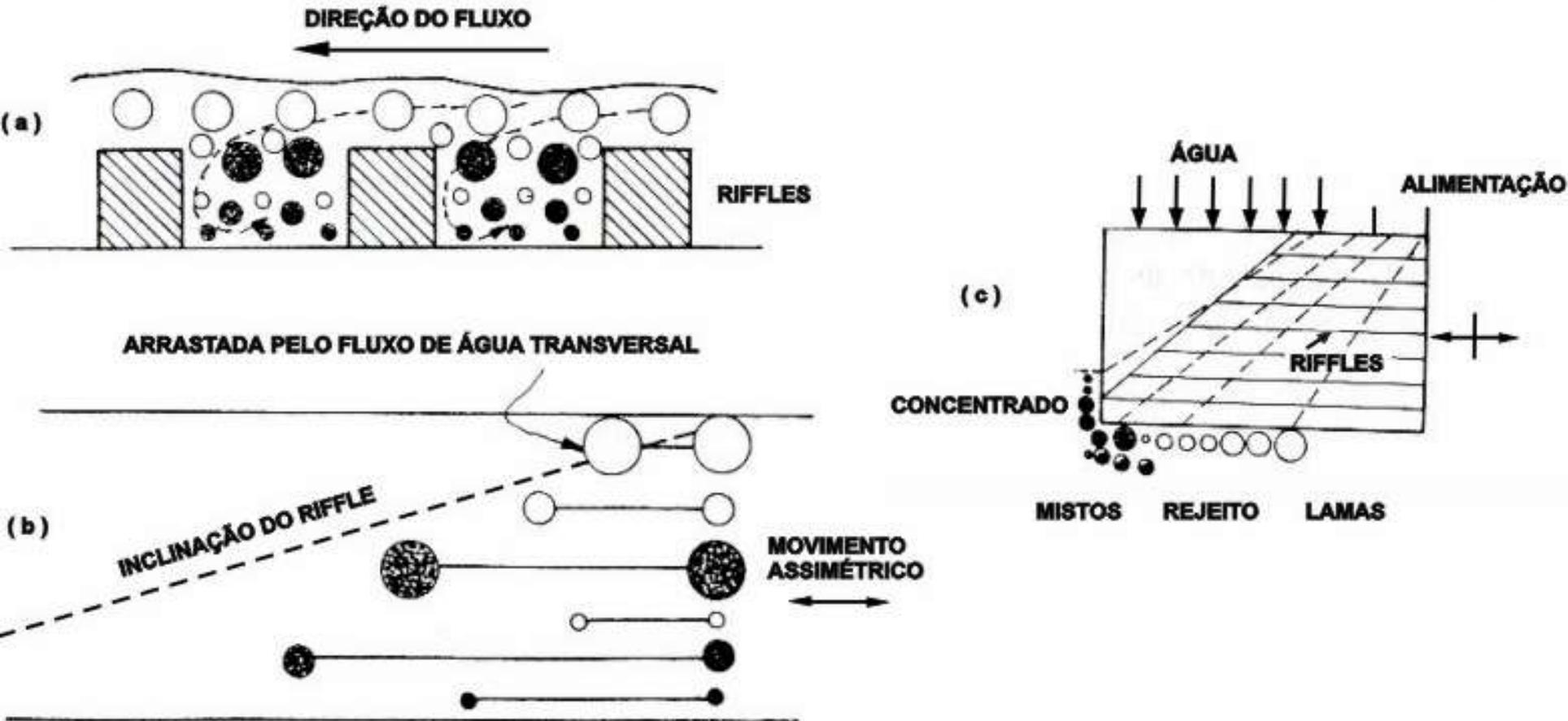


## 3.6. Mesa oscilatória

- Os mecanismos de separação atuantes na mesa oscilatória podem ser melhor compreendidos se considerarmos separadamente a região da mesa com *riffles* e a região lisa.
- As partículas minerais, alimentadas transversalmente aos *riffles*, sofrem o efeito do **movimento assimétrico** da mesa, resultando em um deslocamento das partículas para frente; as pequenas e pesadas deslocando-se mais que as grossas e leves.

## 3.6. Mesa oscilatória

- Nos espaços entre os *riffles*, as partículas estratificam-se devido à dilatação causada pelo movimento assimétrico da mesa e pela turbulência da polpa através dos *riffles*, comportando-se este leito entre os *riffles* como se fosse um jigue em miniatura (com **sedimentação retardada** e **consolidação intersticial**, improvável a aceleração diferencial) fazendo com que os minerais pesados e pequenos fiquem mais próximos à superfície que os grandes e leves.



Mesa oscilatória: (a) estratificação vertical entre os *riffles*, (b) arranjo das partículas ao longo dos *riffles*, (c) distribuição na mesa.

## 3.6. Mesa oscilatória

- As camadas superiores são arrastadas por sobre os *riffles* pela nova alimentação e pelo fluxo de água de lavagem transversal.
- Os *riffles*, ao longo do comprimento, diminuem de altura de modo que, progressivamente, as partículas finas e pesadas são postas em contato com o filme de água de lavagem que passa sobre os *riffles*.

## 3.6. Mesa oscilatória

- A concentração final tem lugar na região lisa da mesa, onde a camada de material apresenta-se mais fina (algumas partículas de espessura).
- A resultante do **movimento assimétrico** na direção dos *riffles* e da **velocidade diferencial em escoamento laminar**, perpendicularmente, é o espalhamento dos minerais.

## 3.6. Mesa oscilatória

- É provável também que haja a ação das **forças de Bagnold** oriundas do movimento da mesa e do fluxo de polpa sobre esta.
- A mesa oscilatória é empregada há várias décadas, sendo um equipamento disseminado por todo o mundo para a concentração gravítica de minérios e carvão.

## 3.6. Mesa oscilatória

- É considerada, de modo geral, o equipamento mais eficiente para o tratamento de materiais com granulometria fina.
- Sua limitação é a baixa capacidade de processamento ( $< 2$  t/h), fazendo com que seu uso, particularmente com minérios de aluviões, se restrinja às etapas de limpeza.

## 3.6. Mesa oscilatória

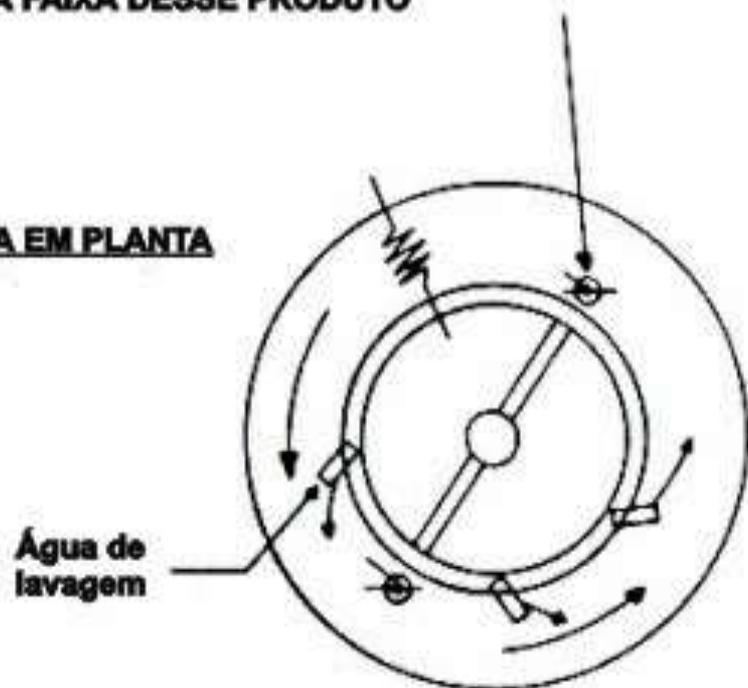
- É um equipamento muito usado na limpeza de concentrado primário ou secundário de minérios de ouro livre e minérios aluvionares.
- Quando tratando minérios de granulometria muito fina, a mesa oscilatória opera com menor capacidade (< 500 kg/h), sendo comum a colocação, após uma série de 6 a 10 *riffles*, com altura um pouco maior e mais larga para criar melhores condições de sedimentação; é a chamada **mesa de lamas**.

## 3.7. Espiral

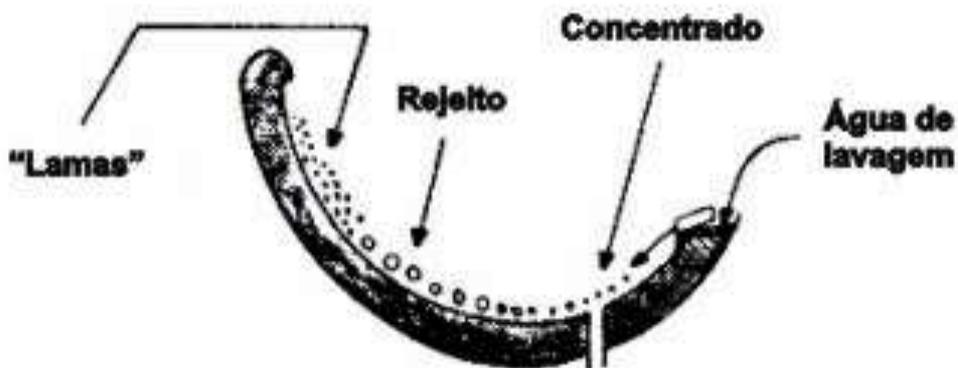
- O concentrador espiral é construído na forma de um canal helicoidal de seção transversal semicircular.
- Muito embora sejam comercializadas espirais com características diferentes (diâmetro e passo da espiral, perfil do canal e modo de remoção do concentrado) conforme o fabricante e o fim a que se destina, os mecanismos de separação atuantes são similares.

**ORIFÍCIO DE SAÍDA DO CONCENTRADO  
COM SEPTO REGULÁVEL PARA CORTE  
DA FAIXA DESSE PRODUTO**

**VISTA EM PLANTA**



**SEÇÃO RETA DA CALHA**



**Alimentação  
(minério + água)**

**Água de  
lavagem**

**VISTA LATERAL**

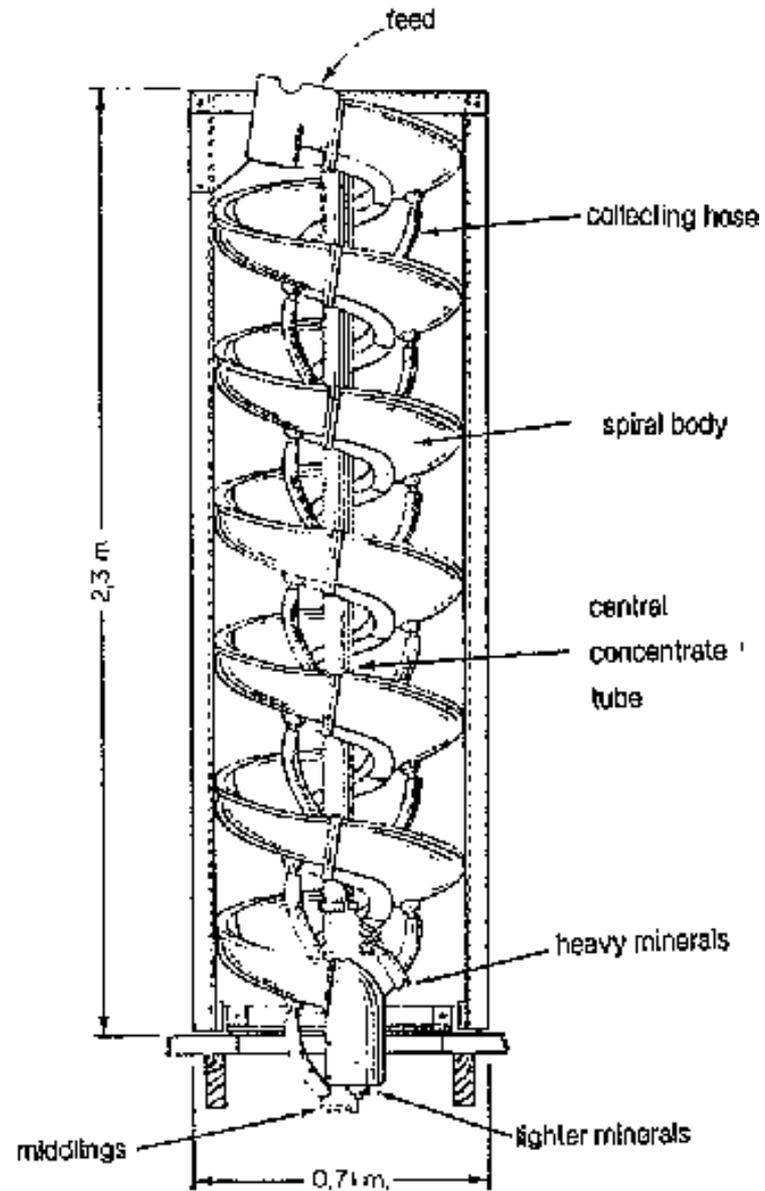
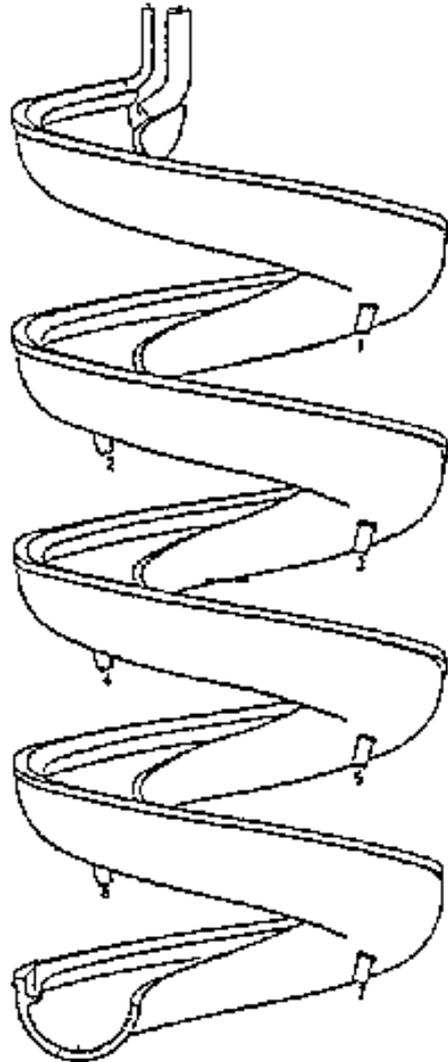




**CETM**

Curso de Especialização em  
Tratamento de Minérios

02/12/2012





**CETM**  
Curso de Especialização em  
Tratamento de Minérios





**CETM**  
Curso de Especialização em  
Tratamento de Minérios



وزارت صنایع و معادن

سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور

02/12/2012





**NAMISA S.A. – Congonhas-MG**



**CETM**  
Curso de Especialização e  
Tratamento de Minérios

02/12/2012



**Gaustec**

## 3.7. Espiral

- Quando a espiral é alimentada, a velocidade da polpa varia de zero na superfície do canal até um valor máximo na interface com o ar, devido ao escoamento laminar.
- Ocorre também uma estratificação no plano vertical, usualmente creditada à combinação de **sedimentação retardada e consolidação intersticial**, sendo também provável que haja a ação de **esforços cisalhantes**.

## 3.7. Espiral

- O resultado final é que no plano vertical, os minerais pesados estratificam-se na superfície do canal, com baixa velocidade, e os minerais leves tendem a estratificar-se na parte superior do fluxo, nas regiões de maiores velocidades.
- A trajetória helicoidal causa também um gradiente radial de velocidade no plano horizontal, que tem um efeito menor na trajetória dos minerais pesados e substancial na dos minerais leves.

## 3.7. Espiral

- Estes, devido à **força centrífuga**, tendem a uma trajetória mais externa.
- A resultante desses mecanismos é a possibilidade de se remover os minerais pesados por meio de algumas aberturas reguláveis existentes na parte interna do canal (como é o caso da maioria das espirais, inclusive a tradicional espiral de Humphreys) ou por meio de cortadores no final do canal (caso da Mark 7).

## 3.7. Espiral

- Uma característica comum a muitas espirais tradicionais é a introdução de água de lavagem após cada abertura de remoção do pesado, com a finalidade de limpar a película de minerais pesados dos minerais leves finos e também manter a diluição da polpa.

## 3.7. Espiral

- Neste contexto, a Mineral Deposits, Austrália, colocou no mercado, recentemente, a espiral com água de lavagem (*Wash-Water Spiral*), cujo sistema de lavagem é mais eficiente do que aquele utilizado na tradicional espiral de Humphrey.

## 3.7. Espiral

- A água de lavagem é alimentada, sob pressão, na parte central da espiral, através de uma mangueira, com furos entre as aberturas que coletam os minerais pesados.
- Essa água, ao sair sob pressão, centrifuga os minerais leves para a parte periférica da espiral, favorecendo o processo de separação.

## 3.7. Espiral

- Essa espiral, com água de lavagem, tem sido usada na etapa de purificação de concentrados.
- Para aplicação a minérios de ouro, tem havido referências sobre a espiral Mark 7 (desenvolvida há quinze anos) mais recentemente na Austrália.

## 3.7. Espiral

- As diferenças principais quando comparada com a espiral de Humphreys são:
  - Separação do concentrado no final da última espira,
  - Ausência de água de lavagem,
  - Passo variável, além de perfil diferente.

## 3.7. Espiral

- Tal como é a tendência atual, a Mark 7 é construída de fibra de vidro e plástico, com revestimento de borracha, e comercializada também com duas ou três espirais superpostas na mesma coluna.

## 3.7. Espiral

- O emprego da Mark 7 na concentração de minérios de ouro livre e de aluviões mostrou um bom desempenho com recuperação variando de 75 a 90 % e razão de enriquecimento de 10 a 80, com recuperação significativa de ouro fino.

## 3.7. Espiral

- Na Suécia, foi introduzido na usina da Boliden um sistema de concentração gravítica (cone Reichert, espiral Mark 7 e mesa oscilatória) para tratar o produto da moagem primária de um minério de sulfetos de Cu, Pb, Zn e Au; mais de 50% do ouro passou a ser recuperado por gravidade e enviado diretamente para fusão, ao mesmo tempo em que melhorou a recuperação global de ouro na usina, antes limitada à flotação.

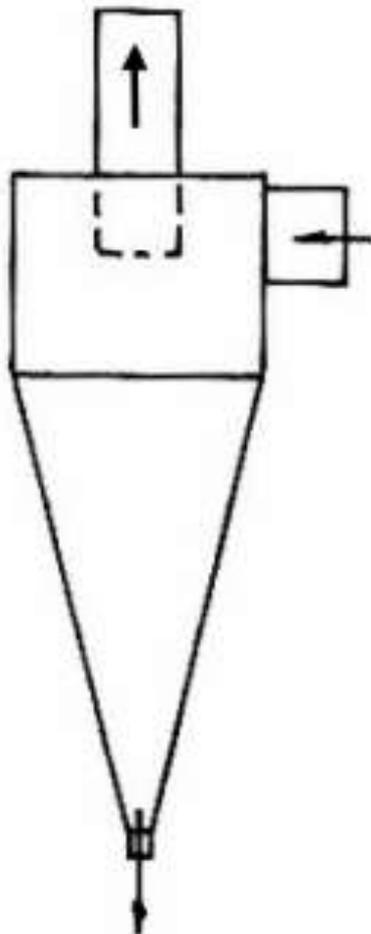
## 3.7. Espiral

- A capacidade de uma espiral simples é normalmente de 2 t/h, semelhante à mesa oscilatória, mas ocupando uma área muito menor.
- Este fator leva à adoção de baterias de espirais.

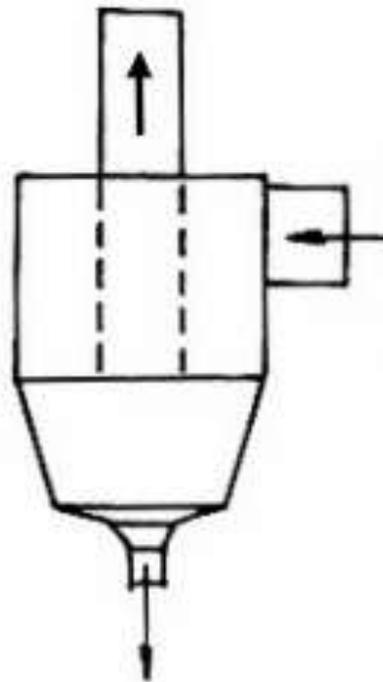
## 3.8. Hidrociclone

- O hidrociclone usado para concentração gravítica é projetado para minimizar o efeito de classificação e maximizar a influência da densidade das partículas.
- Quando comparado com o hidrociclone classificador, apresenta maior diâmetro e comprimento do *vortex finder* e com ângulo do ápex bem superior.

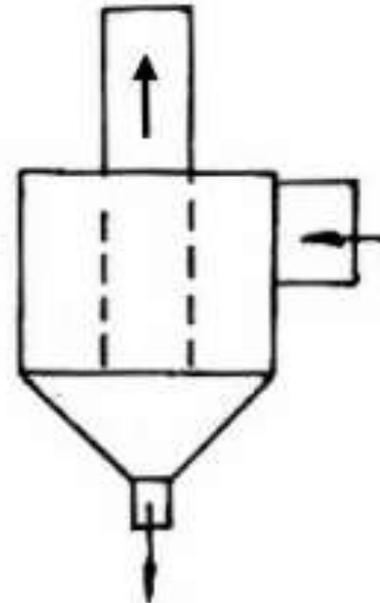
CLASSIFICADOR



CONE  
COMPOSTO



CONE  
CURTO



## 3.8. Hidrociclone

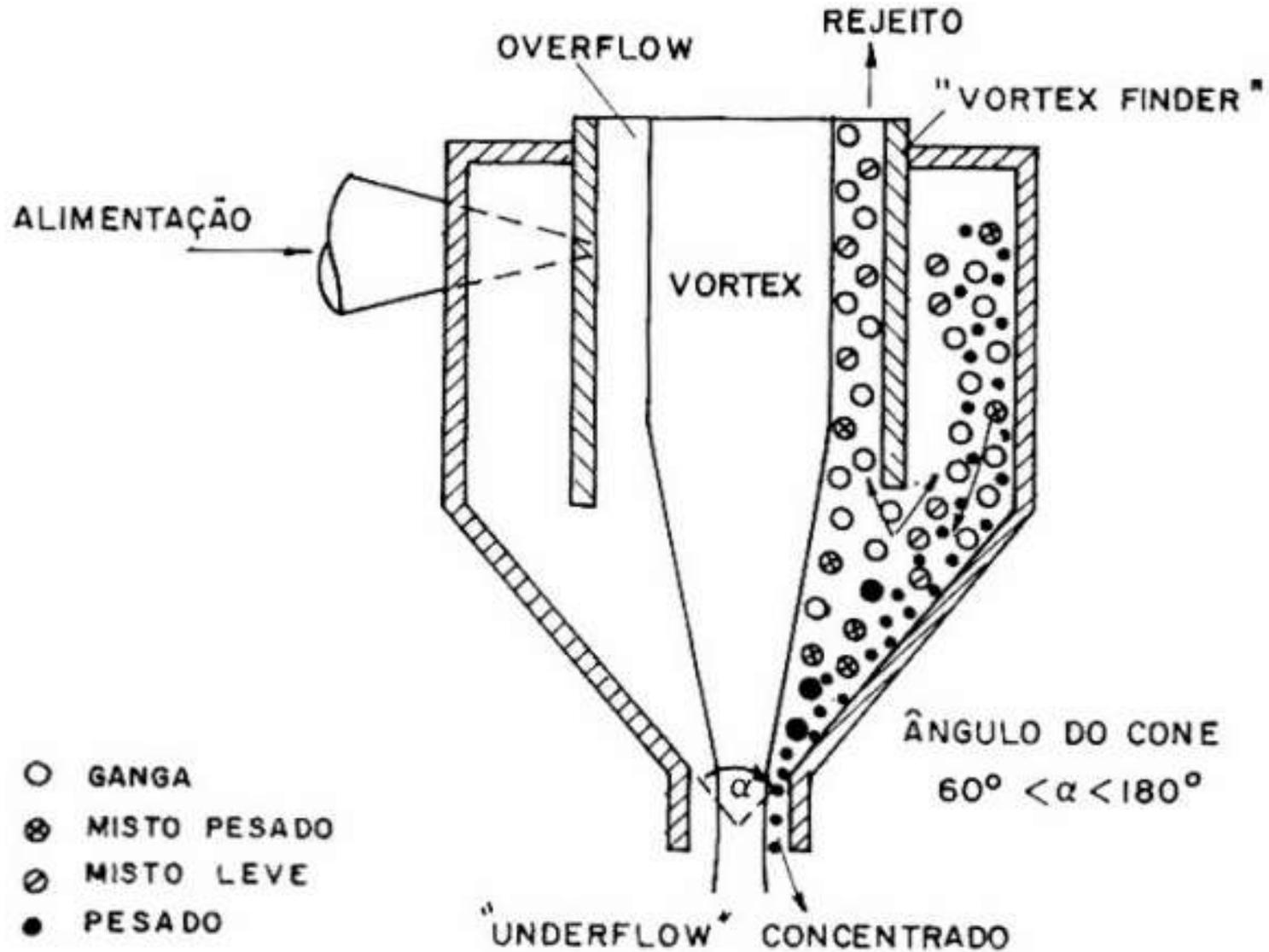
- Quando a polpa é alimentada tangencialmente, sob pressão, um *vortex* é gerado em torno do eixo longitudinal.
- A **força centrífuga** (inversamente proporcional ao raio) é grande perto do *vortex* e causa a estratificação radial das partículas de diferentes densidades e tamanhos (por **aceleração diferencial**).

## 3.8. Hidrociclone

- As partículas pesadas, sendo mais sujeitas a uma ação da força centrífuga, dirigem-se para a parte superior da parede cônica, com a formação de um leito por **sedimentação retardada**, no qual as partículas leves e grossas situam-se mais para o centro do cone e as finas, por **consolidação intersticial**, preenchem os espaços entre os minerais pesados e grossos.

## 3.8. Hidrociclone

- As partículas grossas e leves, primeiro, e as mistas ou de densidade intermediária, depois, são arrastadas para o *overflow* pelo fluxo aquoso ascendente, enquanto o leito estratificado se aproxima do ápex.
- Próximo ao ápex as partículas finas e leves são também carregadas para o *overflow* pela corrente ascendente e as pesadas, finas e grossas, são descarregadas no ápex.



## 3.8. Hidrociclone

- Os hidrociclones (ou ciclones concentradores) recebem na língua inglesa os nomes de *short-cone*, *wide-angle cyclone*, *water-only cyclone* e *hydrocyclone*.
- Há também um tipo de ciclone cuja parte cônica é composta de três seções com ângulos diferentes; em inglês são referidos como *compound water cyclone*, *tricone* ou *multicone*.

## 3.8. Hidrociclone

- Todos eles se assemelham, quanto aos princípios de separação descritos anteriormente.
- Os hidrociclones têm no diâmetro da parte cilíndrica sua dimensão característica, relacionada com a sua capacidade.

## 3.8. Hidrociclone

- O ângulo do cone, o diâmetro e a altura do *vortex finder*, a pressão de alimentação, dentre outros são os parâmetros mais estudados no hidrociclone.
- Por ser um equipamento compacto, de baixo custo e de fácil instalação, tem sido objeto de muitas experiências e aplicações industriais em muitos países, inclusive no Brasil, na indústria carbonífera.

## 3.8. Hidrociclone

- Os ciclones do tipo **water only cyclone**, também chamado de ciclone autógeno (para marcar a diferença do ciclone de meio denso), e do tipo **tricone** são geralmente indicados para a pré-concentração de finos de carvão abaixo de 0,6 mm, onde a fração leve resultante é em seguida tratada por flotação.

## 3.8. Hidrociclone

- Este tipo de circuito é muito usado nos casos de dessulfuração (remoção de S) de carvões em que o enxofre está associado à pirita.
- A aplicação do hidrociclone foi estudada com minérios auríferos da África do Sul, como alternativa aos ciclones classificadores, objetivando enriquecer a alimentação para o circuito gravítico e diminuir a massa de material a ser concentrada, ao mesmo tempo em que reduz o teor de ouro do *overflow* a ser cianetado.

## 3.8. Hidrociclone

- Em um único estágio foi alcançada uma razão de concentração de até 5, com recuperação de ouro de 62%.

## 3.9. Concentrador centrífugo

- Estes equipamentos de concentração apresentam a vantagem de contarem com a ação de uma **força centrífuga** muito grande.
- Na Ex-União Soviética e na China foram testados alguns desses equipamentos; pelo menos algumas unidades estiveram em operação.

## 3.9. Concentrador centrífugo

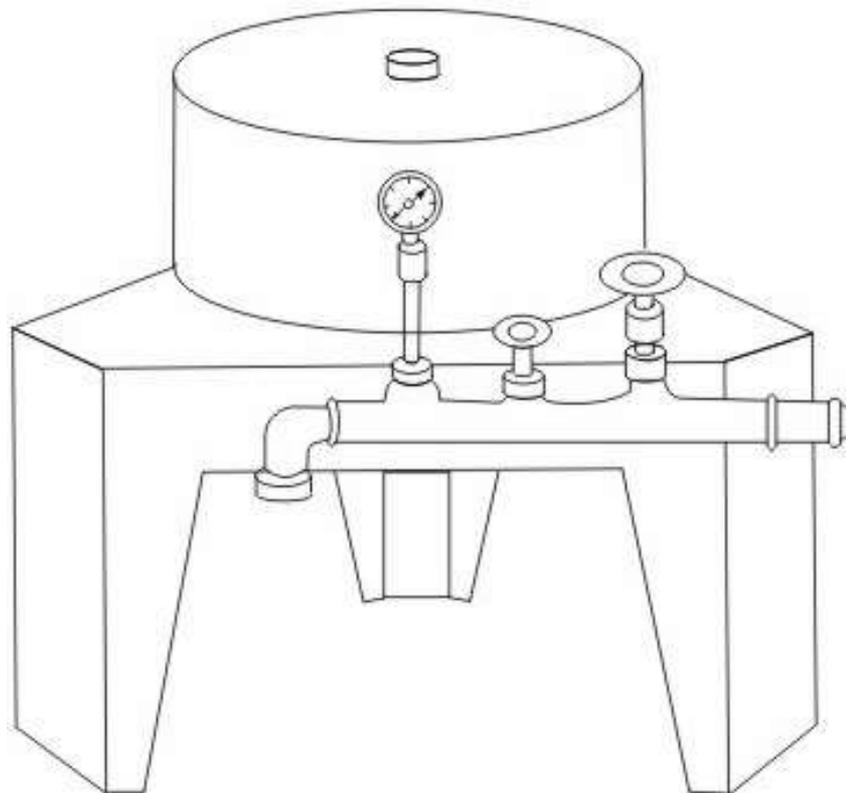
- Um equipamento de duas décadas que se disseminou para o tratamento de metais preciosos de granulometria fina é o **concentrador centrífugo Knelson**.
- Outros fabricantes também desenvolveram e comercializam concentradores centrífugos com princípios de operação similares ao Knelson.

## 3.9. Concentrador centrífugo

- Posteriormente foi desenvolvido o concentrador Falcon (também no Canadá), com força centrífuga até cinco vezes maior que a presente nos concentradores Knelson.
- O jigue centrífugo e o *muti-gravity separator* (MGS) são outros equipamentos que utilizam a força centrífuga para melhorar a eficiência de recuperação de minerais finos, e que também foram desenvolvidos nos últimos 20-30 anos.

## 3.9. Concentrador centrífugo

- Nos concentradores tipo Knelson, a força centrífuga empregada é cerca de cinquenta vezes a força da gravidade, ampliando a diferença entre a densidade dos vários minerais.
- Esta força centrífuga enclausura as partículas mais pesadas em uma série de anéis localizados na parte interna do equipamento, enquanto o material leve é gradualmente deslocado para fora dos anéis, saindo na parte superior do concentrador.



Concentrador centrífugo (a) visão externa, (b) seção transversal.

## 3.9. Concentrador centrífugo

- A colocação do cone numa camisa d'água e a injeção de água sob pressão dentro deste através de perfurações graduadas nos anéis evitam que o material se compacte em seu interior.
- A operação desse concentrador centrífugo é contínua por um período, tipicamente, de 8 a 10 h para minérios auríferos, até que os anéis estejam ocupados predominantemente por minerais pesados.

## 3.9. Concentrador centrífugo

- Quanto maior a proporção de minerais pesados na alimentação, menor será o período de operação do concentrador.
- Portanto, esta variável deve ser otimizada de acordo com as características de cada minério a ser tratado.

## 3.9. Concentrador centrífugo

- Após a paralisação do equipamento, faz-se a drenagem do material retido em seu interior, operação esta realizada em 10-15 min.
- Do ponto de vista de eficiência de recuperação, uma das variáveis mais importantes é a água de contrapressão.

## 3.9. Concentrador centrífugo

- Se a pressão da água for muito alta, haverá uma fluidificação excessiva no interior dos anéis que poderá fazer com que as partículas finas ou superfinas pesadas saiam no rejeito.
- Ao contrário, no caso de pressão muito baixa, haverá pouca fluidificação, dificultando a penetração das partículas pesadas nos espaços intersticiais do leito semi-compactado nos anéis, implicando também em perdas.

## 3.9. Concentrador centrífugo

- A regulagem da água é feita, com frequência, no caso de minérios auríferos, pelo tratamento do rejeito com bateia; varia-se a pressão até não se detectar partículas do mineral pesado de interesse no concentrado da bateia.
- Percebe-se que esse método de controle fica limitado à eficiência de recuperação do ouro pela bateia, a qual se sabe não ser satisfatória para as partículas superfinais.

## 3.9. Concentrador centrífugo

- A prática de concentração de minérios aluvionares auríferos tem indicado que pressões entre 55 e 83 kPa (8 e 12 psi) são suficientes para fluidificar o leito e permitir boa recuperação.
- Há as seguintes sugestões: 5 psi para material fino, 10 psi para areias e 16 psi para material grosso.

## 3.9. Concentrador centrífugo

- Contudo, a pressão adequada (assim como o período de operação) é dependente das características de cada minério.
- O concentrador Knelson foi concebido para a concentração de minérios aluvionares, podendo ser usado com minérios de ouro livre, após a moagem, e no tratamento de rejeitos de instalações gravíticas.

## 3.9. Concentrador centrífugo

- Segundo o fabricante, em uma única passagem, o equipamento pode alcançar um enriquecimento de 1.000 vezes ou mais.
- Foram realizadas experiências na Austrália com concentrado de sulfeto de níquel, obtido por flotação.

## 3.9. Concentrador centrífugo

- A recuperação do ouro contido neste concentrado variou entre 64 e 71%, indicativo da recuperação de ouro superfino, uma vez que 50 a 80% da alimentação estava abaixo de 75  $\mu\text{m}$ .
- Estes resultados incentivaram a instalação do concentrador Knelson no circuito de moagem.

## 3.9. Concentrador centrífugo

- Muitas unidades desse equipamento, ou similares, foram comercializadas na América do Norte e na Austrália.
- No Brasil também já há muitas em uso, em instalações garimpeiras ou de empresas, para recuperação de ouro.

## 3.9. Concentrador centrífugo

- Mais recentemente, cogita-se o emprego do concentrador centrífugo para o re-tratamento de rejeitos gravíticos de minerais pesados contidos nas frações finas, assim como na limpeza de carvões.
- Alguns dos fabricantes dedicam-se ao aperfeiçoamento de equipamentos com descarga contínua do concentrado (Falcon) ou descarga semi-contínua (Knelson).

## 3.9. Concentrador centrífugo

- Registra-se a aplicação da concentração centrífuga a vários tipos de minérios, para recuperação de finos de cassiterita, scheelita, separação de pirita fina de carvões etc.

## 4. Recuperação de finos

- Os equipamentos de concentração gravítica de finos baseiam-se em vários mecanismos.
- Um deles é a **velocidade diferencial em escoamento laminar**.

## 4. Recuperação de finos

- Sua limitação é que se aplica apenas a películas com algumas partículas de espessura, implicando que quanto menor a granulometria dos minerais, maior deve ser a área do deque.
- Como conseqüência, os equipamentos usando apenas este princípio apresentam capacidade muito baixa.

## 4. Recuperação de finos

- Os equipamentos que se utilizam da **força centrífuga** são talvez mais promissores na separação de finos; com a vantagem de apresentarem capacidades muito superiores àqueles que se baseiam nas forças de cisalhamento.

## 4. Recuperação de finos

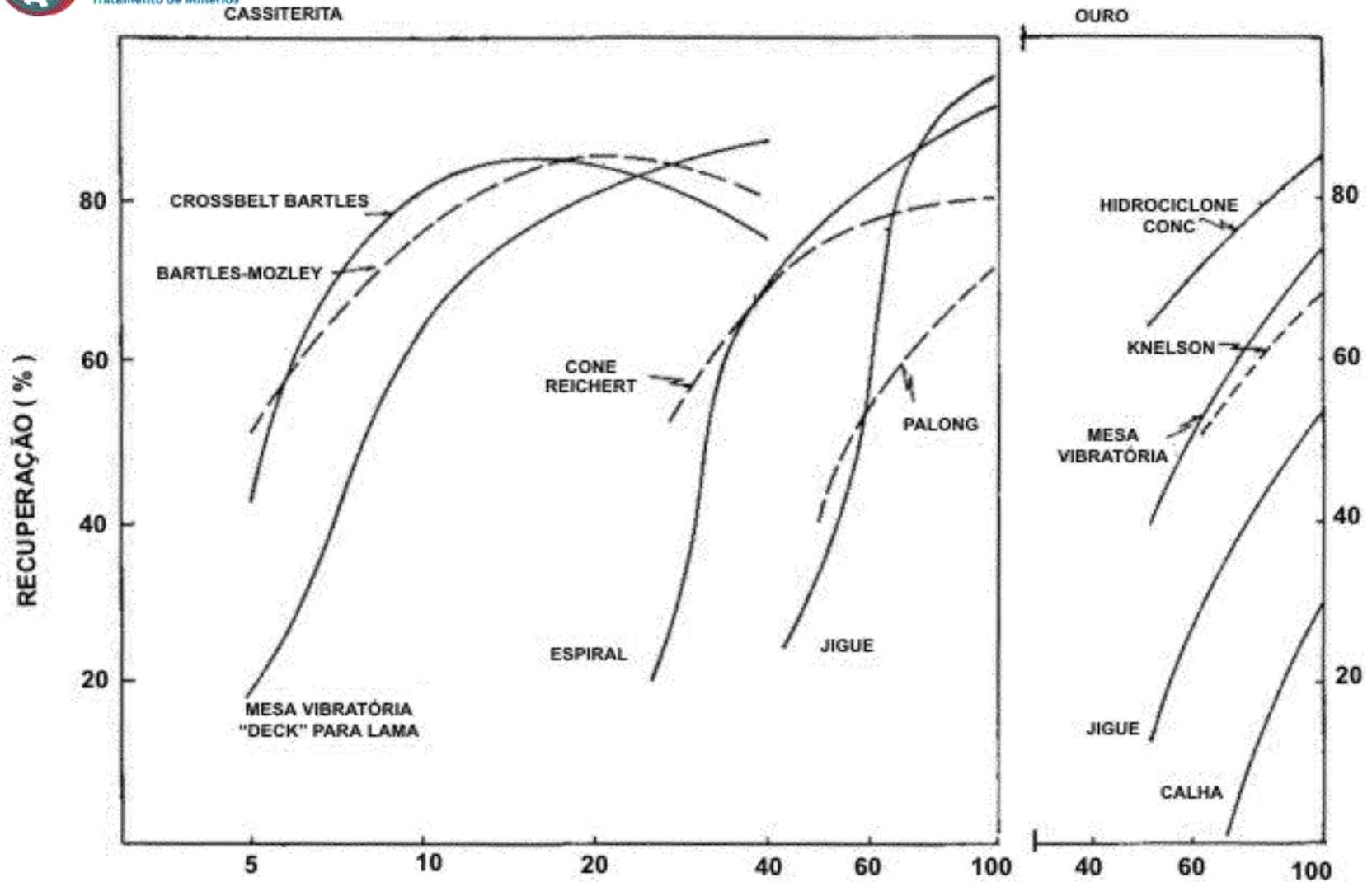
- Para ilustrar o desempenho de vários equipamentos gravíticos, serão considerados a cassiterita e o ouro.
- A recuperação de finos de cassiterita em vários equipamentos é mais conhecida que a recuperação de ouro.

## 4. Recuperação de finos

- Para efeito de comparação foram montadas na figura abaixo as curvas de recuperação *versus* granulometria para a cassiterita e o ouro, para granulometria a baixo de 100  $\mu\text{m}$ .
- Verifica-se que a cassiterita, apesar de ter densidade bem menor que o ouro, é melhor recuperada por gravidade na faixa fina e superfina.

## 4. Recuperação de finos

- A explicação para isso é que as partículas do ouro apresentam uma certa hidrofobicidade (aversão à água) que em tamanhos muito pequenos, e principalmente quando as partículas são achatadas, faz com que o ouro tenda a ficar na superfície do fluxo aquoso, saindo nos rejeitos.



Curvas de recuperação x granulometria ( $\mu\text{m}$ ) para cassiterita e ouro  $< 100\mu\text{m}$

## 4. Recuperação de finos

- É interessante também citar a influência do pH da polpa na eficiência de concentração de superfinos em lâminas d'água de algumas partículas de espessura.
- Foi verificado que os fenômenos eletrocinéticos atuam significativamente na separação de uma fração superfina de minério de cassiterita.

## 4. Recuperação de finos

- Usando-se o concentrador Bartles-Mozley em pH neutro foi obtida a melhor recuperação.
- A viscosidade da polpa também afetou a eficiência de concentração.

## 4. Recuperação de finos

- A recuperação de finos é menos preocupante quando os rejeitos são tratados por outro processo, como flotação ou cianetação (para o caso do ouro).
- No entanto, quando são descartados e há ainda substancial quantidade de finos valiosos, configura-se um problema. A questão é geralmente um desafio para o tratamentista de minérios.