

**CETM**

Curso de Especialização em  
Tratamento de Minérios

# Concentração física de minerais

4. Separação em meio denso

Prof. Dr. André Carlos Silva

# 1. INTRODUÇÃO

- A separação em meio denso é um processo de separação gravítica aplicado na separação de minerais, onde o meio denso pode ser constituído de líquidos orgânicos, soluções de sais inorgânicos ou, ainda, de uma suspensão estável de densidade pré-determinada.

# 1. INTRODUÇÃO

- A suspensão, no caso da separação em meio denso, é um sistema heterogêneo constituído de um sólido insolúvel disperso em água, que se comporta com as características de um líquido.
- As suspensões são mais usadas em processos industriais, onde os sólidos insolúveis mais utilizados são finos de magnetita ou de ferro silício.

# 1. INTRODUÇÃO

- O meio denso a ser utilizado na separação de minerais deve apresentar uma densidade intermediária entre as das espécies minerais a serem separadas, de maneira que os minerais com densidade inferior flutuem, e aqueles com densidade superior afundem.
- O processo de separação em meio denso é mais aplicado para partículas grossas, acima de 28# (0,6 mm).

# 1. INTRODUÇÃO

- A separação em meio denso abrange, principalmente, três campos de aplicação:
  - Estudos de laboratório;
  - Obtenção de concentrados finais e
  - Obtenção de pré-concentrados na indústria.

# 1. INTRODUÇÃO

- Para estudos de laboratório são utilizados líquidos densos e/ou soluções de sais inorgânicos e, mais raramente, suspensões para o fracionamento de minerais de densidades diferentes e na caracterização de carvões, com os seguintes objetivos:

# 1. INTRODUÇÃO

- Estudo do grau de liberação dos minerais a serem separados;
- Investigar a viabilidade técnica de utilização de métodos de separação gravítica em desenvolvimento de processos;
- Controle de ensaios de concentração gravítica;

# 1. INTRODUÇÃO

- Levantamento de curvas de partição, envolvendo os principais parâmetros para projetos de separação em meio denso;
- Avaliação qualitativa de produtos de separação gravítica (minerais e carvões);
- Avaliação de desempenho de equipamentos de separação gravítica (curva de Tromp).

# 1. INTRODUÇÃO

- Na obtenção de concentrados finais ou de pré-concentrados na indústria, usam-se normalmente meios densos à base de suspensões de finos de ferro-silício e/ou de magnetita, respectivamente para separações de minerais metálicos ou carvões.

## 2. TIPOS DE MEIO DENSO

- As principais características de um meio denso ideal são:
  - Formar suspensão ou solução estável;
  - Não ser corrosivo;
  - Possuir baixa viscosidade;
  - Não ser tóxico;
  - Ser passível de recuperação;
  - Ter fácil ajuste de densidade e
  - Ter baixo custo.

## 2. TIPOS DE MEIO DENSO

- Na separação de minerais, podem ser utilizados os seguintes tipos de meio denso:
  - Soluções aquosas de sais inorgânicos;
  - Líquidos orgânicos;
  - Fluidos paramagnéticos;
  - Suspensões de sólidos em água.

## 2.1. Soluções aquosas de sais inorgânicos

- Soluções de cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ) com densidade 1,4 foram as primeiras soluções de sais inorgânicos a serem utilizadas na separação industrial de carvões, por meio dos processos Lessing e Bertrand.
- Apesar desses processos terem permitido a obtenção de produtos adequados ao mercado, os custos de operação inviabilizaram o seu uso.

## 2.1. Soluções aquosas de sais inorgânicos

- Soluções de cloreto de zinco ( $\text{ZnCl}_2$ ) com densidade de até 1,8, são usadas até hoje, porém só para estudos de lavabilidade de carvões em laboratório.

## 2.2. Líquidos orgânicos

- Houve uma tentativa de utilização de líquidos orgânicos (hidrocarbonetos halogenados), de maior densidade do que as soluções de sais inorgânicos, na separação de minerais.
- Contudo, problemas de toxidez e altos custos operacionais terminaram por inviabilizar o processo.

## 2.2. Líquidos orgânicos

- Atualmente, os líquidos orgânicos são utilizados apenas em laboratório, na caracterização tecnológica de matérias-primas minerais ou carbonosas.

## Características dos líquidos orgânicos utilizados na separação de minerais em laboratório.

Líquido	FQ	(C1) <sup>(1)</sup>	(C2)	(C3)	(C4)	(C5)	(C6)
Tetrabromoetano	CHBr <sub>2</sub> CHBr <sub>2</sub>	2,964	12,0	0,065	<1,0	0,1	151 <sup>(2)</sup>
Bromofórmio	CHBr <sub>3</sub>	2,890	1,89 <sup>(5)</sup>	0,319	5,0	6-7	149,5
Iodeto de Metileno	CH <sub>2</sub> I <sub>2</sub>	3,325	2,6	1,42	1,3 <sup>(5)</sup>	5,6	180 <sup>(3)</sup>
Solução de Clerici	CH <sub>2</sub> (COOTI) <sub>2</sub> HCOOTI	4,280	31,0 <sup>(5)</sup>	1,40	-	-	-
Tricloro-etano	CCl <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	1,330	-	2,00 <sup>(4)</sup>	-	32,5	74,1 <sup>(6)</sup>
Tricloro-Bromo-Eteno	CCl <sub>3</sub> Br	2,001	-	0,0	-	-	-
Brometo de metileno	CH <sub>2</sub> Br <sub>2</sub>	2,484	-	-	-	-52,7	97
Tribromo-fluor-metano	CBr <sub>3</sub> F	2,748	-	11,7 <sup>(7)</sup>	-	-	-
<p>(1) – Em relação à água a 4°C.</p> <p>(2) – Em relação a 54 mm de Hg.</p> <p>(3) – Com decomposição.</p> <p>(4) – Média a 20°C.</p> <p>(5) – Média a 25°C</p> <p>(6) - Média a 760 mm de Hg.</p> <p>(7) - Média a 15°C</p>		<p>(C1) – Densidade (g/ml a 20°C)</p> <p>(C2) – Viscosidade (cPa 20°C)</p> <p>(C3) – Solubilidade em água (g/100 ml)</p> <p>(C4) – Pressão de vapor ( mmHg a 20°C)</p> <p>(C5) – Temperatura (°C) de solidificação</p> <p>(C6) – Temperatura (°C) de ebulição.</p> <p>(FQ) – Fórmula Química</p>					

## 2.2. Líquidos orgânicos

- Densidades intermediárias às dos líquidos densos listados na tabela anterior poderão ser obtidas mediante a adição de diluentes tais como:
  - Álcool etílico ( $d = 0,89$ );
  - Tetracloreto de carbono ( $d = 1,59$ );
  - NN-dimetil formamida ( $d = 0,93$ ) e
  - Xilol ( $d = 0,85$ ).

## 2.2. Líquidos orgânicos

- Os líquidos densos mais utilizados nas pesquisas de laboratório são bromofórmio, iodeto de metileno e solução de clerici, e os diluentes mais utilizados são tetracloreto de carbono, xilol e percloroetileno.

## 2.2. Líquidos orgânicos

- Uma propriedade importante que tanto os líquidos densos quanto os diluentes devem ter na preparação do meio denso é a sua pressão de vapor.
- Quanto menor for a pressão de vapor dos mesmos, bem como a diferença das pressões de vapor entre os líquidos misturados (líquido denso e diluente), mais estável será a mistura.

## 2.2. Líquidos orgânicos

- Em virtude do alto custo dos líquidos densos, é prática comum fazer a sua reutilização ou recuperação.
- Os métodos utilizados dependem da natureza do líquido denso e do diluente utilizados na mistura.

## 2.2. Líquidos orgânicos

- Quando o diluente utilizado é solúvel em água (álcool), a lavagem em contracorrente com água pode ser utilizada.
- Em relação às suspensões de sólidos, os líquidos orgânicos apresentam as seguintes vantagens: baixas viscosidade e abrasividade e alta estabilidade.

## 2.3. Fluidos paramagnéticos

- o Em 1986 a **Intermagnetics General Corporation-IGC** patenteou, nos Estados Unidos, um equipamento denominado **Magstream**, destinado à separação de minerais ou partículas sólidas, baseado na diferença de suas densidades.

## 2.3. Fluidos paramagnéticos

- Essa separação pode ser feita em batelada (300 g de amostra) ou escala comercial de 250 kg/h, cobrindo um intervalo de densidade de 1,5 a 21,0.
- Os minerais a serem separados são misturados com um fluido magnético e alimentados no *Magstream*, através de um tubo rotativo anular.

## 2.3. Fluidos paramagnéticos

- Uma força magnética externa exerce uma atração sobre o fluido que, combinada com a força centrífuga, promove um gradiente de densidade radial que aumenta do centro para a periferia, permitindo a separação das partículas leves e pesadas.

## 2.3. Fluidos paramagnéticos

- Fluido paramagnético é uma suspensão coloidal, à base de água, não tóxico, contendo partículas de ferrita micronizada abaixo de 100 Å e dispersas com lignosulfonato.
- Esse fluido funciona com uma densidade variável na presença de um campo magnético.

## 2.3. Fluidos paramagnéticos

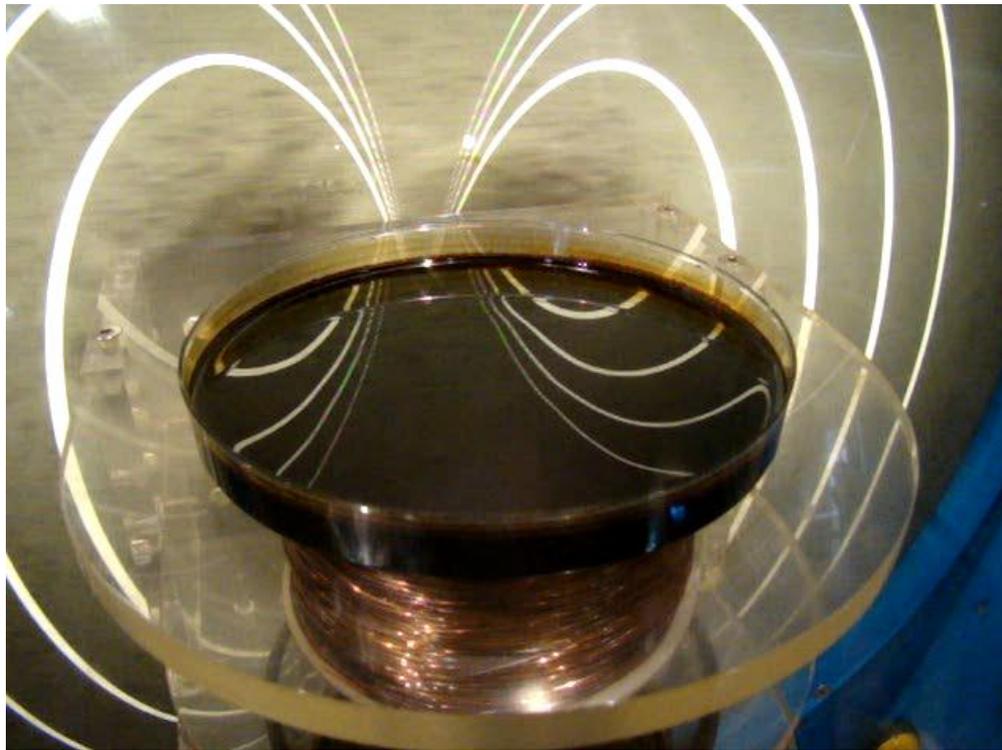
- A densidade do fluido magnético pode ser controlada, variando-se a intensidade do campo, a velocidade de rotação ou a concentração do fluido.
- Excetuando-se o campo magnético, a operação no aparelho *Magstream* se assemelha à separação em ciclone de meio denso ou em ***Dynawhirpool*** (DWP).

## 2.3. Fluidos paramagnéticos



Concentração física de minerais -  
4. Separação em meio denso

## 2.3. Fluidos paramagnéticos



Concentração física de minerais -  
4. Separação em meio denso

## 2.4. Suspensões de sólidos em água

- Para a obtenção de uma suspensão ideal é necessário que o sólido a ser utilizado apresente as seguintes características:
  - **Dureza elevada** – para evitar a degradação das partículas, que geram finos durante a operação e conseqüentemente aumentam a viscosidade da polpa;
  - **Estabilidade química** – apresentar resistência à corrosão e não reagir com os minerais em estudo;

## 2.4. Suspensões de sólidos em água

- **Densidade elevada** – para atingir a densidade de separação dos minerais, tendo o meio denso viscosidade aceitável do ponto de vista operacional;
- **Recuperação fácil** – o material utilizado na suspensão água/sólido deve apresentar propriedades que permitam a recuperação do sólido e sua reutilização;

## 2.4. Suspensões de sólidos em água

- **Estabilidade de suspensão** – o material sólido deve formar uma polpa estável;
- **Granulometria** – o material sólido deve apresentar uma distribuição granulométrica, de maneira a não elevar a viscosidade do meio em níveis impraticáveis, do ponto de vista operacional. A utilização de material (sólido) muito fino contribui para aumentar a viscosidade, além de dificultar a sua recuperação.

## 2.4. Suspensões de sólidos em água

- **Grãos arredondados** – é aconselhável a utilização de materiais com grãos arredondados, visto que os grãos angulosos diminuem a fluidez do meio e se degradam com mais facilidade.

## 2.5. Características dos principais sólidos utilizados nas suspensões

- **Ferro-silício (15% Si) atomizado**
  - É obtido mediante a atomização com vapor do material fundido, seguido de resfriamento brusco em água, resultando na obtenção de partículas arredondadas.
  - Na tabela a seguir estão apresentadas as características granulométricas de quatro tipos de Fe/Si.

## 2.5. Características dos principais sólidos utilizados nas suspensões

**Características granulométricas do ferro-silício atomizado (catálogo Hoechst).**

Granulometria (mm)	Tipo e % Peso Acumulada			
	Grosso	Fino	Ciclone 60	Ciclone 40
+0,210	3	1	--	--
+0,149	11	8	0	--
+0,105	28	18	2	0
+0,074	40	33	7	2
+0,044	62	55	27	10
-0,044	38	45	73	90
-0,037	--	--	65	85

Concentração física de minerais -  
4. Separação em meio denso

## 2.5. Características dos principais sólidos utilizados nas suspensões



Concentração física de minerais -  
4. Separação em meio denso

## 2.5. Características dos principais sólidos utilizados nas suspensões

- **Ferro-silício (15% Si) moído**
  - É obtido por meio de britagem e moagem.
  - Na tabela abaixo estão apresentadas as características granulométricas de seis diferentes tipos de ferro-silício moído.

## 2.5. Características dos principais sólidos utilizados nas suspensões

**Distribuição granulométrica de seis diferentes tipos de Fe/Si moído (catálogo Hoechst).**

Granulometria (mm)	Tipo e % em peso acumulada					
	48D	65D	100D	150D	270D	N(*)
+0,210	5	0,5	0	0	0	0
+0,149	15	3,0	0,2	0	0	0-0,5
+0,105	30	8,0	1,2	0,5	0	0-5
+0,074	50	20,0	5,0	2,0	0,2	5-10
+0,044	75	55	35	25	10	20-30
-0,044	25	45	65	75	90	70

(\*) Nacional

## 2.5. Características dos principais sólidos utilizados nas suspensões

- São representadas na tabela a seguir as características químicas e físicas de um ferro-silício, com 15% de Si, quer seja moído ou atomizado.

## 2.5. Características dos principais sólidos utilizados nas suspensões

### Características químicas e físicas de um ferro-silício

Elementos <sup>(*)</sup> /Propriedades	Peso (%)	Elementos <sup>(*)</sup> /Propriedades	Peso (%)
Si	14-16	Al	0,8
C	1,0	Mn	0,5
S	0,05	Cu	0,8
P	0,1	Cr	0,5
material magnético			99%
densidade picnométrica			6,7-7,0
Densidade aparente			3,5-4,2
(*) Exceto o Si, os outros valores são o máximo permitido			

## 3. DENSIDADE DO MEIO

- A densidade de uma suspensão é função da densidade do sólido utilizado e da quantidade de sólido adicionado ao meio. Essa densidade pode ser calculada, segundo a expressão:

$$D_p = \frac{100}{\frac{C}{D_s} + (100 - C)}$$

## 3. DENSIDADE DO MEIO

- Onde:
  - $D_p$  é a densidade da suspensão (polpa);
  - $D_s$  é a densidade do sólido;
  - $C$  é a concentração (% em peso) do sólido na suspensão.

## 3. DENSIDADE DO MEIO

- À medida que aumenta a concentração de sólidos, aumenta a densidade da suspensão.
- No entanto existe um limite, do ponto de vista prático, porque se a viscosidade da suspensão atingir determinados limites, a fluidez do meio fica comprometida, inviabilizando a separação dos minerais do ponto de vista prático.

## 3. DENSIDADE DO MEIO

- O limite da concentração de sólidos das suspensões encontra-se entre 70 e 86% em peso.
- Na preparação das suspensões podem ser usados os minerais: barita, quartzo moído, magnetita moída, e ainda ferro-silício (moído ou atomizado), chumbo atomizado e argilas.

## 3. DENSIDADE DO MEIO

- Existem quatro classes de suspensão cobrindo intervalos de densidades da suspensão, relacionadas com os minerais de interesse a separar:
  - Densidades de 1,3 a 1,9, restritas praticamente ao beneficiamento de carvão;
  - Densidades de 2,7 a 2,9 muito comum na pré-concentração de minerais metálicos;

## 3. DENSIDADE DO MEIO

- Densidades de 2,9 a 3,6, utilizadas para minérios especiais e mais particularmente na recuperação de diamantes;
- Densidades acima de 3,6, raramente usadas.

## 3. DENSIDADE DO MEIO

- Por apresentarem propriedades mais adequadas na preparação de suspensões água/sólido, os materiais mais utilizados são o ferro-silício e a magnetita.
- O ferro-silício é uma liga composta principalmente de silício (15%) e ferro (85%), com densidade de 6,9.

## 3. DENSIDADE DO MEIO

- A sua alta densidade permite a obtenção de polpas com densidade máxima de 3,4, cobrindo portanto um intervalo capaz de separar a maioria dos minerais metálicos de suas gangas.
- Isto é um fator que faz com que o Fe/Si seja o meio denso mais utilizado, industrialmente, para minerais metálicos e outros minerais especiais.

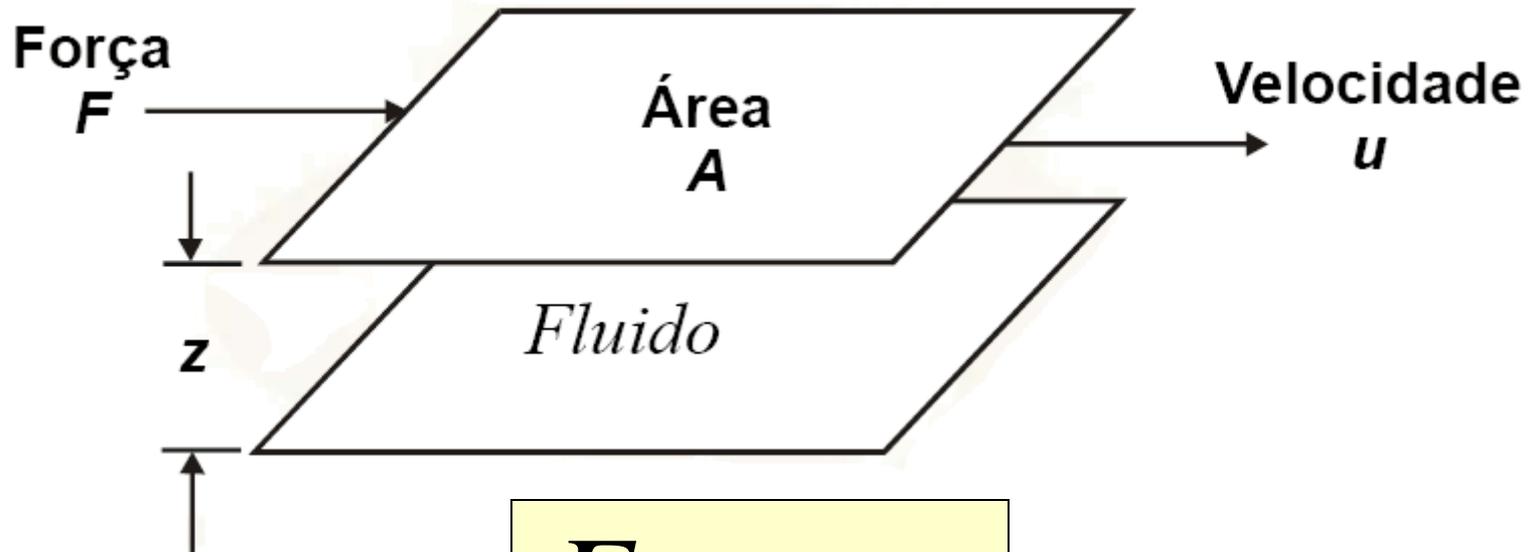
## 3. DENSIDADE DO MEIO

- A magnetita, com densidade de 5,0 a 5,2 permite, na prática, a obtenção de uma polpa com densidade máxima de 1,9.
- Desta forma, só é possível a utilização da magnetita para a separação de minerais de baixa densidade tais como: grafita, gipsita e principalmente carvões minerais.

## 4. REOLOGIA DO MEIO DENSO

- A reologia estuda as propriedades físicas resultantes do escoamento de materiais, particularmente fluxo plástico de sólidos e de líquidos não Newtonianos.

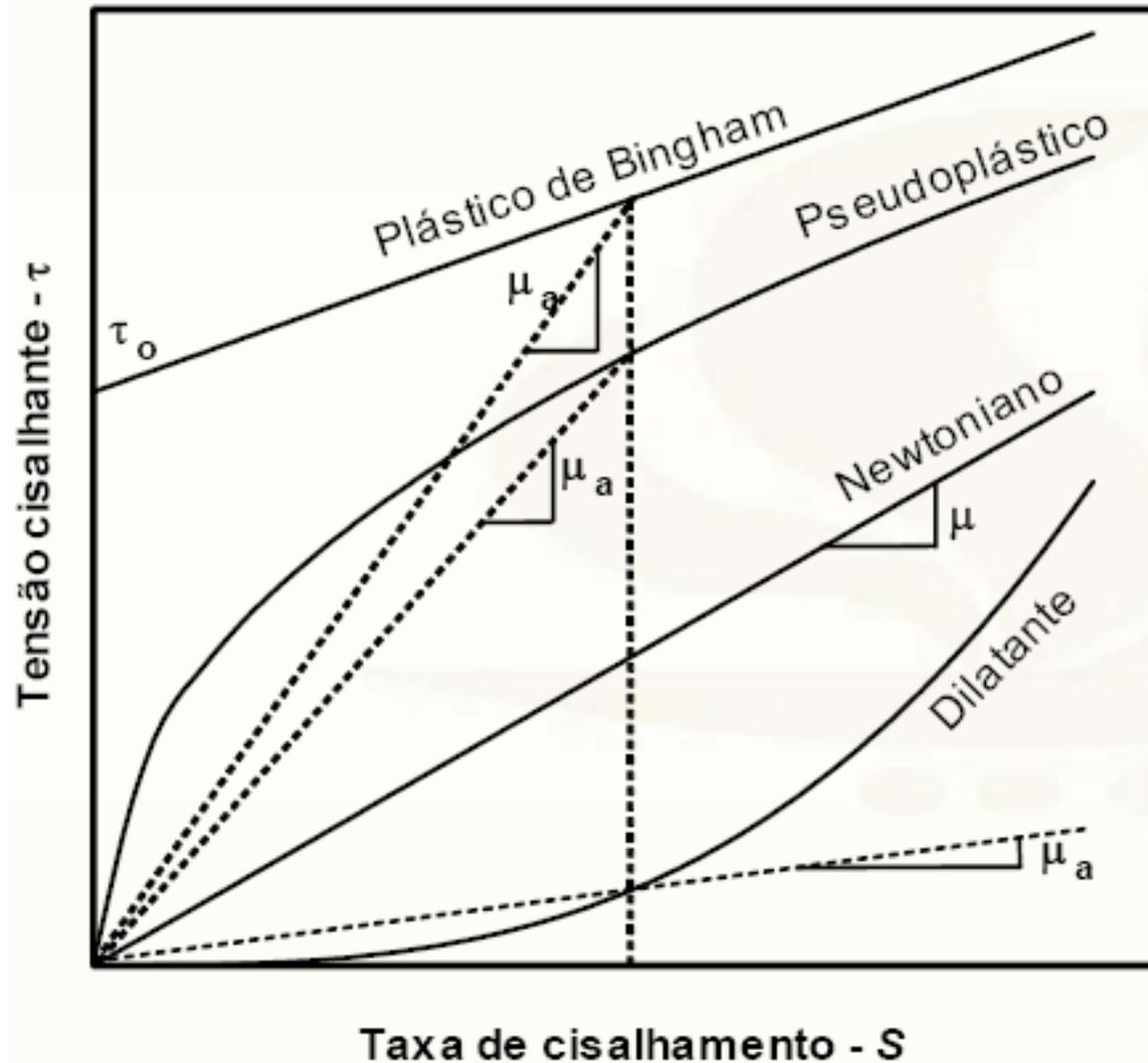
## 4. REOLOGIA DO MEIO DENSO



$$\frac{F}{A} = \mu \frac{u}{z}$$

## 4. REOLOGIA DO MEIO DENSO

- Nos fluidos newtonianos a viscosidade independe da taxa de taxa de cisalhamento.
- Já nos fluidos não-newtonianos a viscosidade depende da taxa de cisalhamento.



$$\frac{F}{A} = \mu \frac{u}{z}$$

$$\tau = \frac{dF}{dA}$$

$$S = \frac{du}{dz}$$

$$\tau = \mu S$$

## 4.1. Propriedades do meio denso

- Como regra geral, as propriedades reológicas de uma suspensão são influenciadas pelos seguintes fatores:
  - Viscosidade do meio fluido;
  - Concentração de sólidos;
  - Tamanho e forma das partículas;
  - Forças de interação entre as partículas.

## 4.1. Propriedades do meio denso

- As características físicas e mineralógicas do meio têm um efeito muito significativo sobre a operação do meio denso.
- A densidade, forma e distribuição granulométrica dos sólidos utilizados na suspensão têm grande influência na reologia do meio denso.

## 4.1. Propriedades do meio denso

- Propriedades físicas e químicas, tais como energia superficial, coercividade, permeabilidade e grau de oxidação, também influenciam na reologia do meio e na sua recuperação.

## 4.1. Propriedades do meio denso

- O desempenho de uma separação em meio denso está relacionado com:
  - As propriedades hidrodinâmicas do material a ser separado, em condições operacionais;
  - As propriedades reológicas da suspensão sob condições operacionais;
  - A granulometria do material a ser separado e a densidade do meio de separação;

## 4.1. Propriedades do meio denso

- A viscosidade e o limite de escoamento da suspensão que, idealmente, devem ser o mais baixo possível;
- A estabilidade da suspensão que deve ser a mais alta possível.

## 4.1. Propriedades do meio denso

- Entende-se por estabilidade, como o inverso da taxa de sedimentação da suspensão.
- Quanto mais estável for a suspensão, menor será a agitação requerida pela mesma durante a operação de separação.

## 4.1. Propriedades do meio denso

- Por outro lado, uma menor turbulência do meio denso, resulta em menor formação de finos, decorrente da degradação do material sólido que constitui a suspensão, evitando as perdas deste no circuito de recuperação do meio denso.

## 4.1. Propriedades do meio denso

- Entretanto é possível que, para formar essa suspensão mais estável, seja atingido o limite de escoamento desta, aumentando a viscosidade para valores impraticáveis.
- Em vista disto, deve-se buscar um ponto de equilíbrio entre a estabilidade da suspensão e o aumento da viscosidade.

## 4.2. Qualidade da suspensão Fe/Si

- Klassen et al. estudaram a melhoria das propriedades físicas e mecânicas de uma suspensão de Fe/Si, com a adição de reagentes orgânicos e inorgânicos.
- Os seus estudos mostraram que a adição de hexametáfosfato de sódio (0,5 – 1,0 g/l) à suspensão reduziu a sua viscosidade de 17,0 para 12,5 cP e tensão de cisalhamento de 30 para 0,8 N/cm<sup>2</sup>.

## 4.2. Qualidade da suspensão Fe/Si

- O pH da suspensão exerce também uma influência muito grande na redução da viscosidade e tensão de cisalhamento da suspensão, estando os melhores valores para pH entre 7,8 e 8,5.

## 4.2. Qualidade da suspensão Fe/Si

- O ferro-silício moído é bastante susceptível à oxidação na fase de moagem, estocagem e principalmente quando da sua utilização na separação em meio denso, prejudicando as propriedades reológicas da suspensão.

## 4.2. Qualidade da suspensão Fe/Si

- A decomposição do ferro-silício ainda não está suficientemente entendida, mas alguns fatores são apontados como responsáveis pela corrosão na superfície das partículas de Fe/Si, quais sejam:
  - Não uniformidade estrutural da liga de ferro-silício, variando de 15 a 25% Si;

## 4.2. Qualidade da suspensão Fe/Si

- Composição não uniforme de camada interfacial nas diferentes seções das superfícies das partículas de ferro-silício, quando em contato com a fase fluida;
- Formação não homogênea e aparecimento de uma voltagem interna nas partículas de ferro-silício resultante da cominuição.

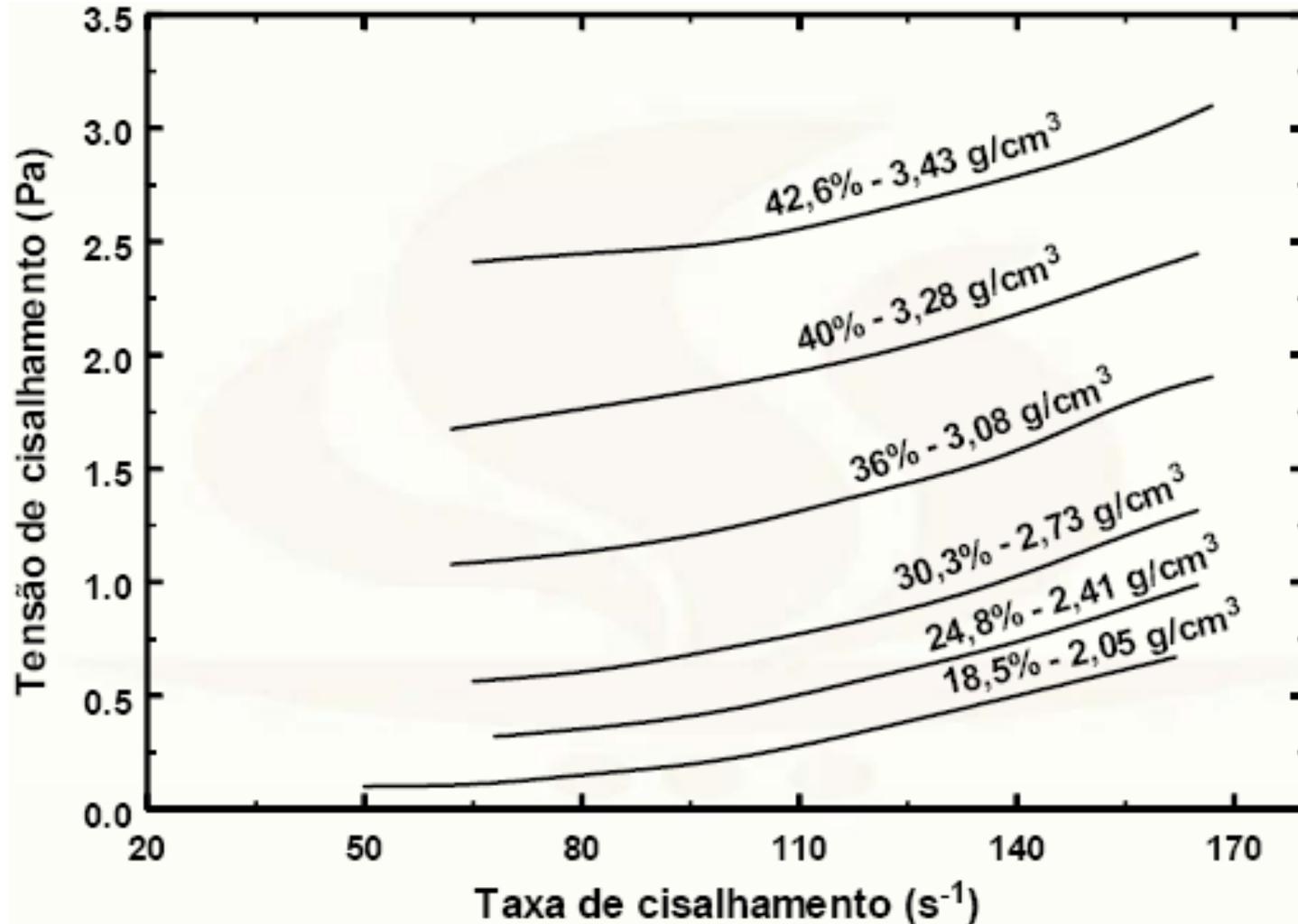
## 4.2. Qualidade da suspensão Fe/Si

- A utilização de um agente inibidor do tipo nitrato de sódio ( $\text{NaNO}_3$ ) ou fosfato de sódio ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ) resulta na formação de um filme sobre a superfície das partículas de Fe/Si.
- Esse filme cobre as seções de anodo e catodo, tendo como resultado uma redução na cinética da reação eletroquímica de superfície.

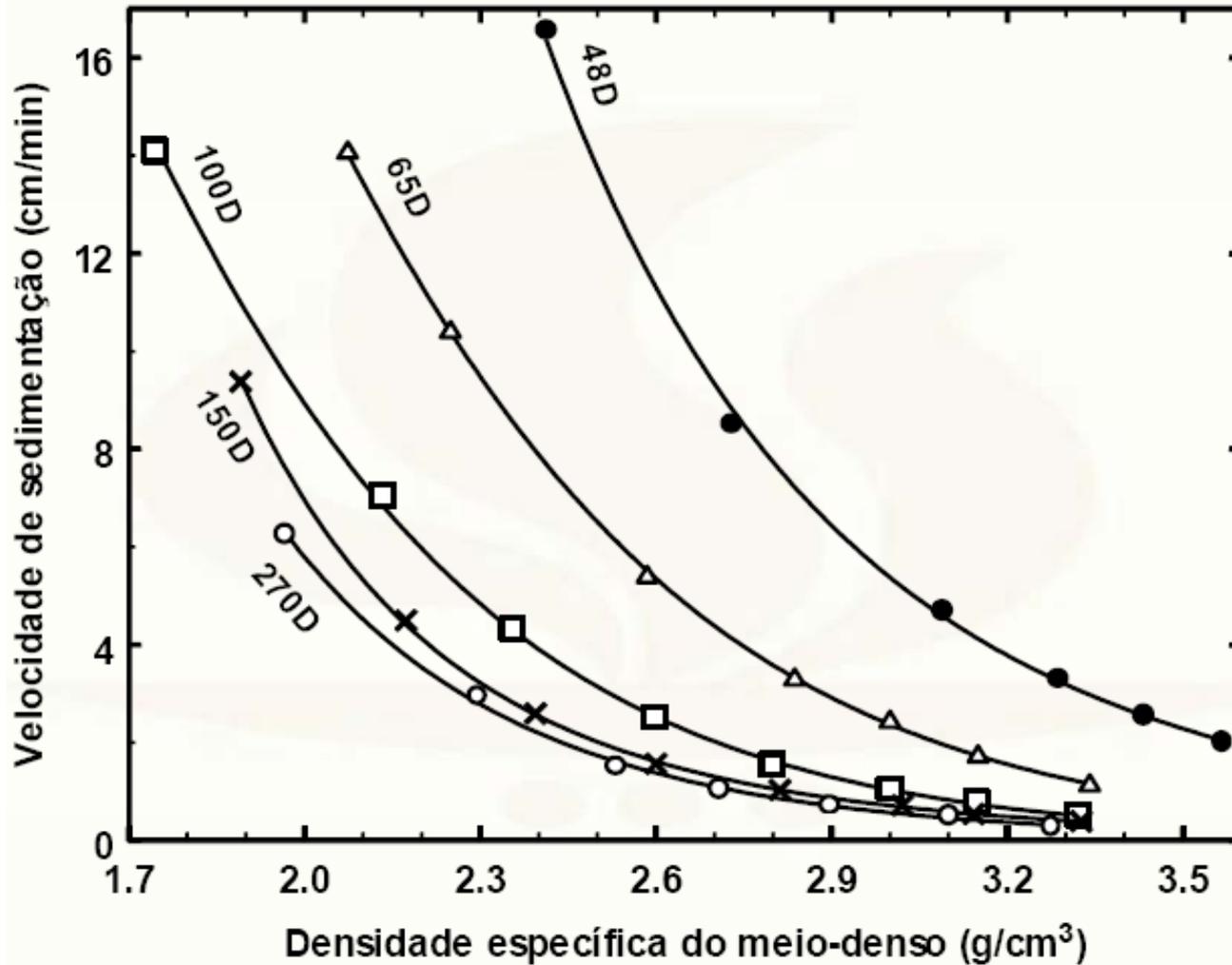
## 4.2. Qualidade da suspensão Fe/Si

- Com isso, o processo de corrosão do Fe/Si é bastante reduzido.

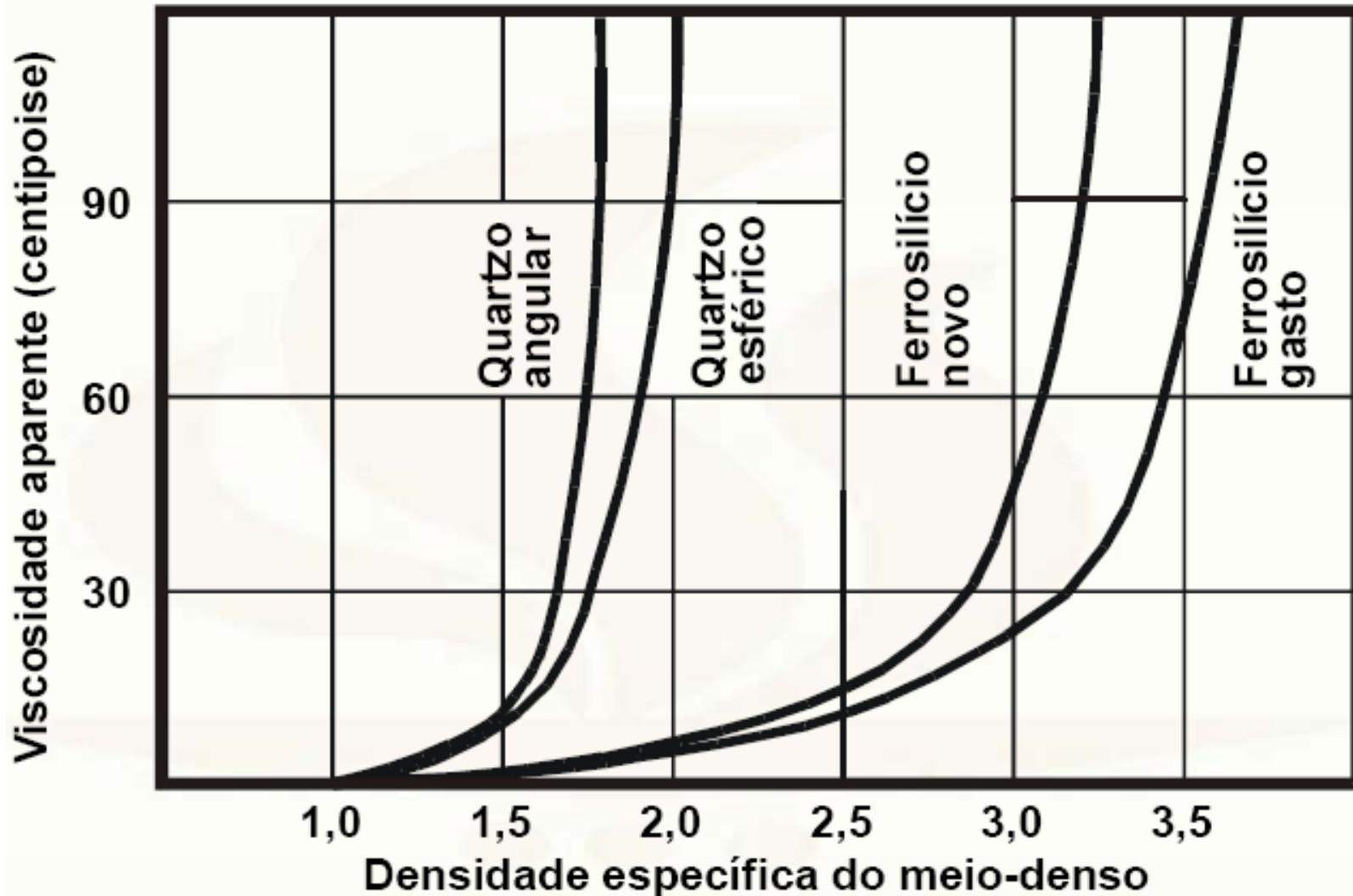
## Efeito da concentração volumétrica de ferrosilício moído no comportamento reológico do meio-denso



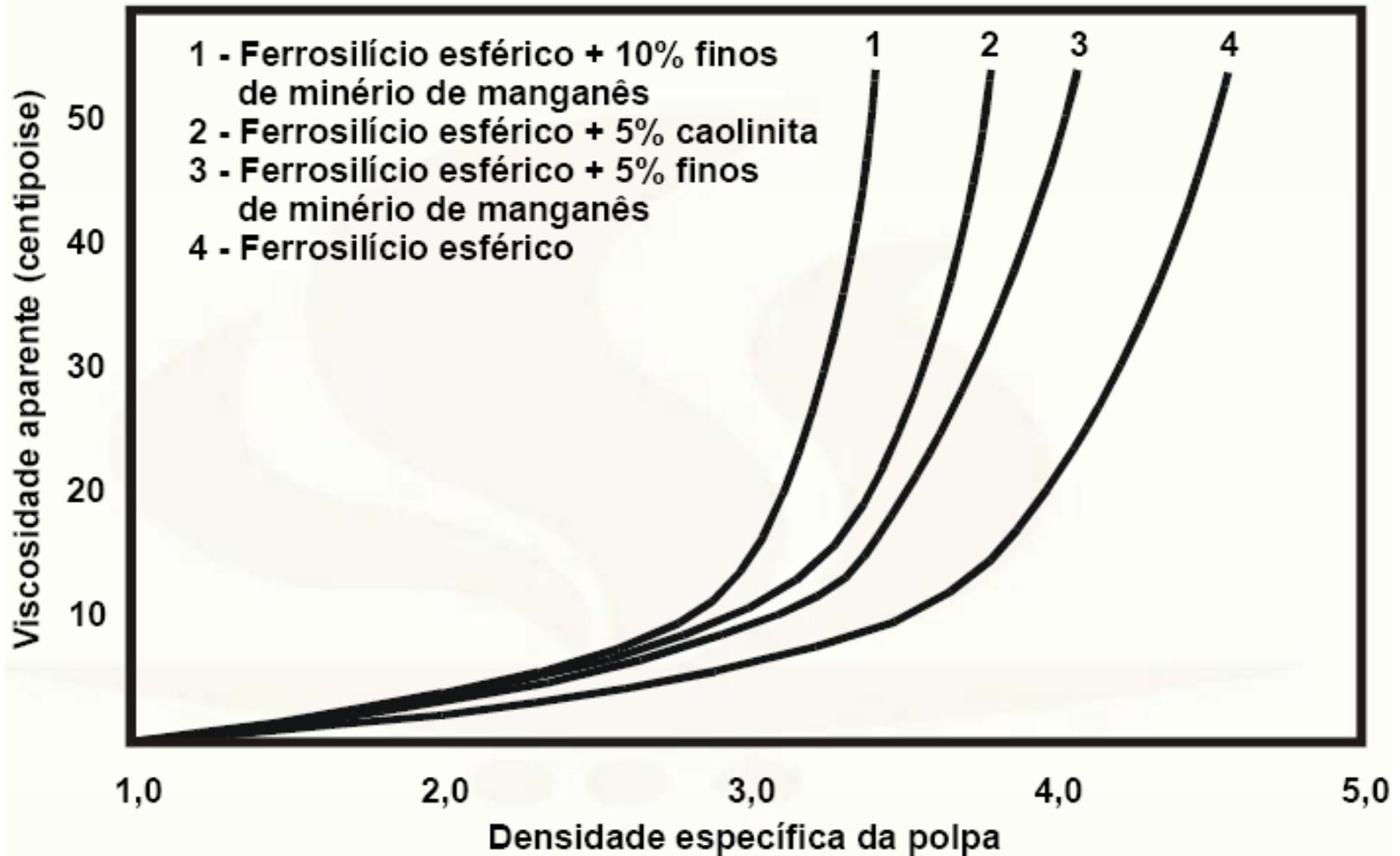
## Influência da granulometria do ferrosilício na estabilidade do meio-denso



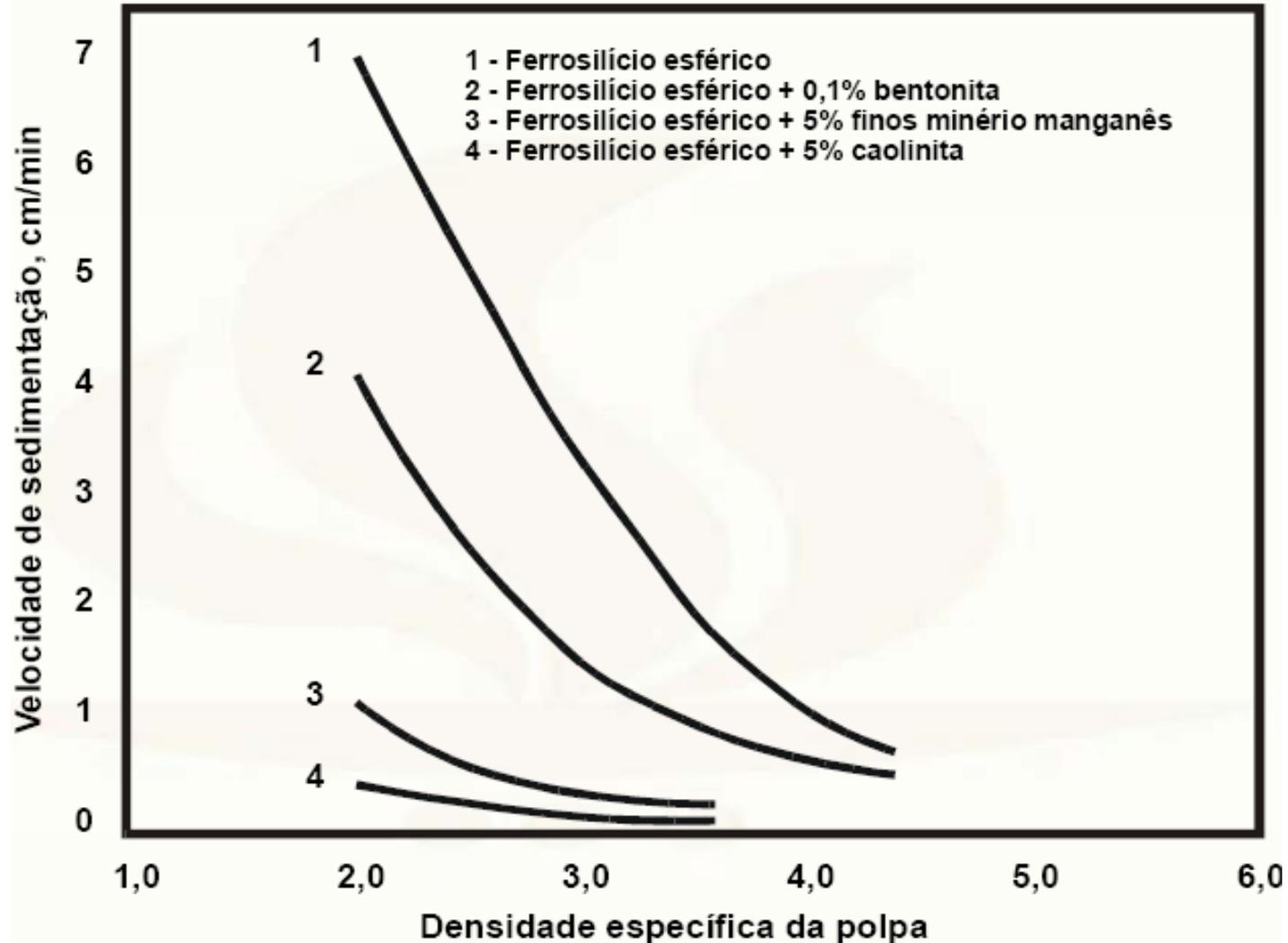
## Efeito da forma da partícula na viscosidade do meio-denso



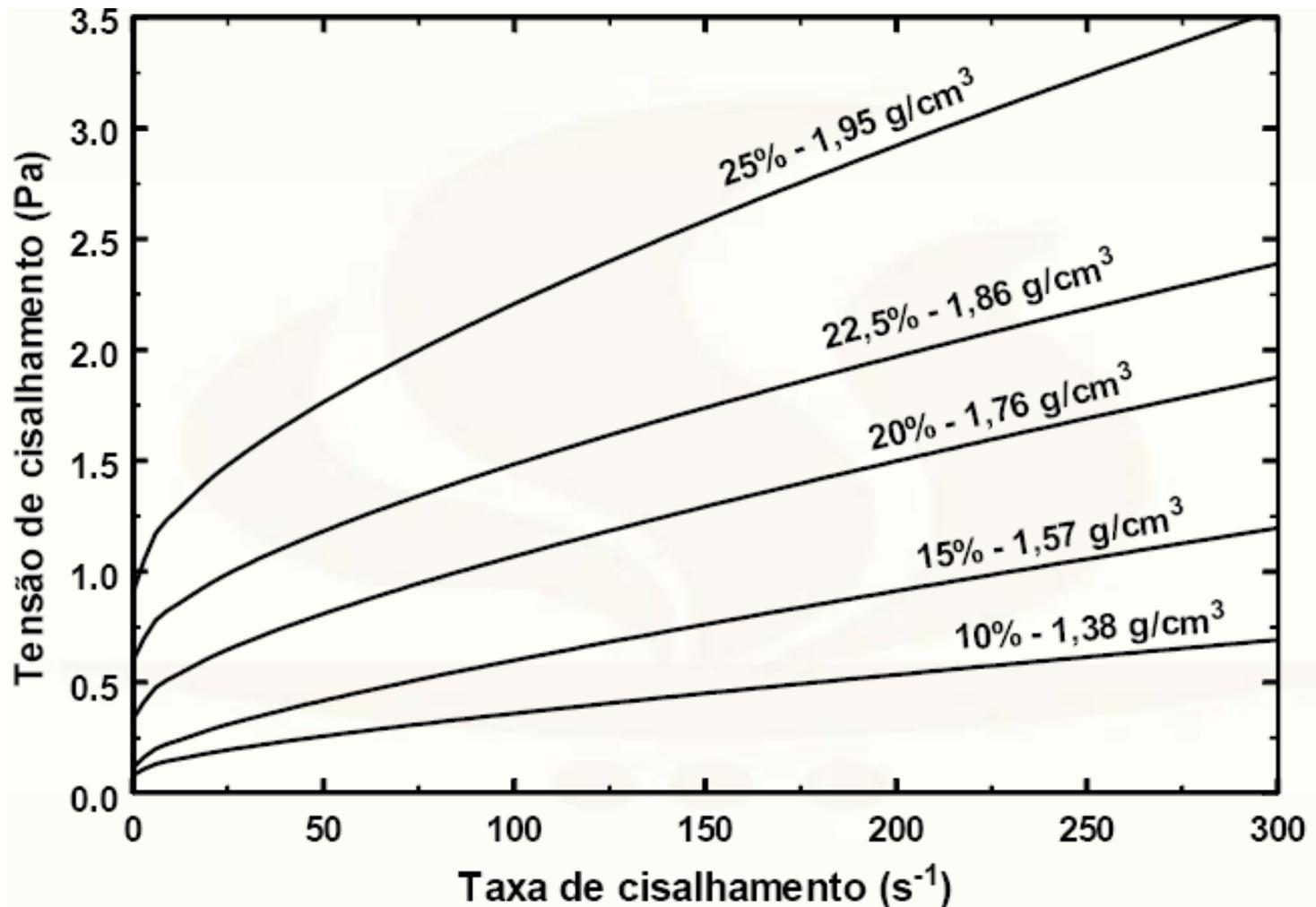
## Efeito da presença de contaminantes na viscosidade de meios-densos



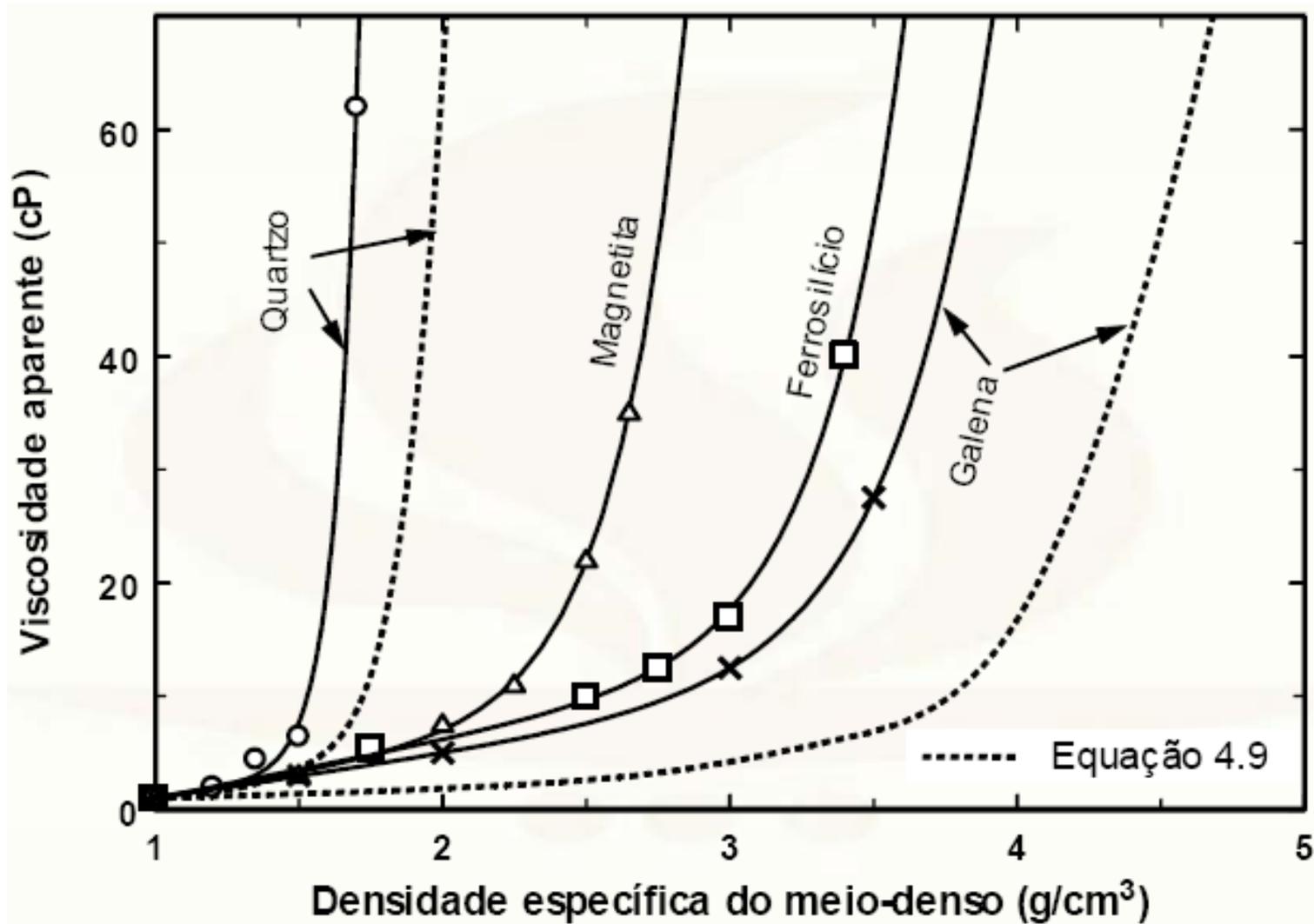
## Efeito da presença de contaminantes na estabilidade de meios-densos



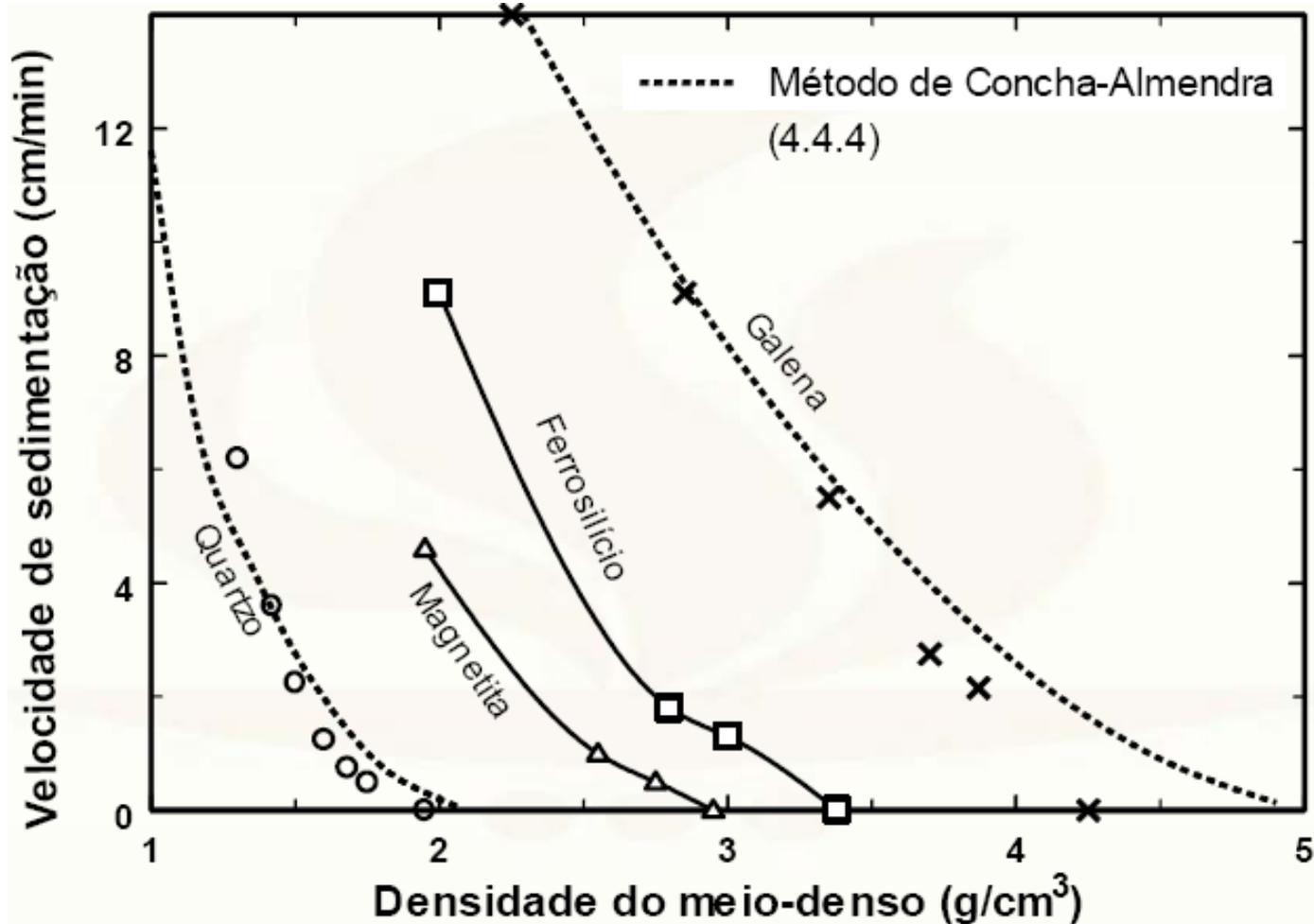
## Efeito da concentração volumétrica de magnetita no comportamento reológico do meio-denso



## Efeito da densidade da polpa na viscosidade do meio-denso



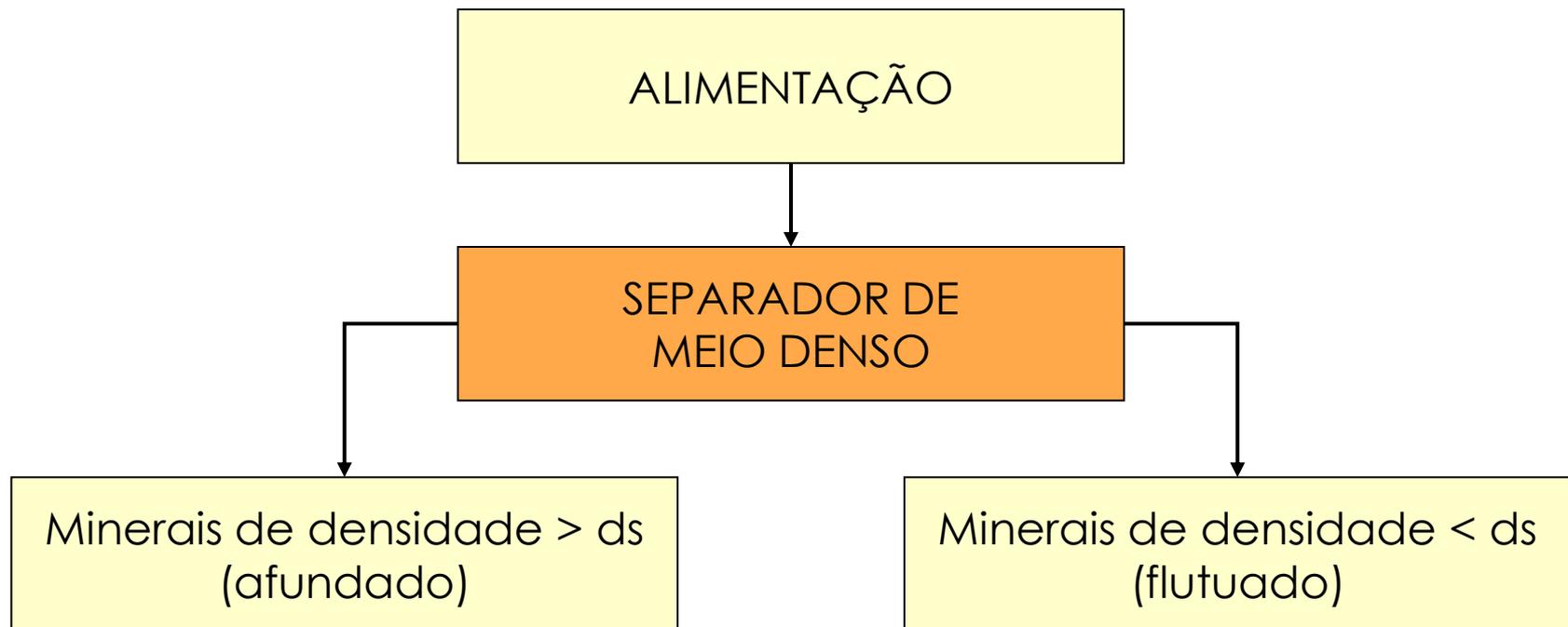
## Efeito da densidade da suspensão na velocidade de sedimentação do meio-denso



## 5. PRINCÍPIOS DA SEPARAÇÃO EM MEIO DENSO

- O processo de separação em meio denso consiste em separar partículas em função de suas densidades, usando como meio de separação, um fluido de densidade intermediária.
- As partículas de densidade inferior à desse fluido, flutuam; as de densidade superior, afundam; e as de densidade igual à do fluido, permanecem em suspensão.

## 5. PRINCÍPIOS DA SEPARAÇÃO EM MEIO DENSO



## 5. PRINCÍPIOS DA SEPARAÇÃO EM MEIO DENSO

- A separação em meio denso é dividida em dois métodos básicos de separação: o "estático" e o dinâmico.
- A separação **estática** é feita em suspensões onde atuam somente forças gravitacionais, o que não implica que os equipamentos usados não possuam partes móveis, o necessário para prover a estabilidade do meio denso.

## 5. PRINCÍPIOS DA SEPARAÇÃO EM MEIO DENSO

- A separação **dinâmica** é caracterizada pelo uso de separadores que empregam forças centrífugas, cerca de 20 vezes, ou mais, que a força da gravidade atuante na separação estática, que são os chamados separadores centrífugos.

## 5. PRINCÍPIOS DA SEPARAÇÃO EM MEIO DENSO

- Teoricamente, qualquer tamanho de partícula pode ser tratada por meio denso.
- Na prática da separação estática industrial, as partículas a serem separadas devem ter tamanhos acima de 3 mm, sendo que o mais comum é 6 mm.

## 5. PRINCÍPIOS DA SEPARAÇÃO EM MEIO DENSO

- O limite superior de tamanho, na prática, é de 150 mm, podendo ser ainda maior no caso de alguns carvões.
- Este limite máximo é determinado, normalmente, em função dos equipamentos de separação a serem usados no projeto e das facilidades de manuseio de material na usina.

## 5. PRINCÍPIOS DA SEPARAÇÃO EM MEIO DENSO

- A separação pode ocorrer para uma diferença de densidade entre materiais de 0,1 ou menos.
- Em meio estático, a separação dos minerais baseia-se na equação:

$$F_{RG} = M_p \cdot g - M_f \cdot g = (M_p - M_f) \cdot g$$

## 5. PRINCÍPIOS DA SEPARAÇÃO EM MEIO DENSO

- Onde:
  - $F_{RG}$  é a força resultante gravitacional;
  - $M_f$  é a massa do fluido deslocado;
  - $M_p$  é a massa da partícula;
  - $g$  é a aceleração da gravidade.

## 5. PRINCÍPIOS DA SEPARAÇÃO EM MEIO DENSO

- A força resultante gravitacional ( $F_{RG}$ ) poderá ser positiva ou negativa.
- Ela será positiva quando o peso da partícula ( $M_p \cdot g$ ) for maior que o peso do fluido ( $M_f \cdot g$ ) deslocado pela própria partícula, ou seja, a força de empuxo.

## 5. PRINCÍPIOS DA SEPARAÇÃO EM MEIO DENSO

- Neste caso, a partícula afundará.
- Quando a força resultante gravitacional for negativa, ou seja, o peso da partícula ( $M_p \cdot g$ ) for menor que o peso do fluido deslocado ( $M_f \cdot g$ ), a partícula flutuará.

## 5. PRINCÍPIOS DA SEPARAÇÃO EM MEIO DENSO

- Na separação dinâmica, o tamanho máximo da partícula varia de 12 a 50 mm e o mínimo de 0,5 a 1,0 mm.
- Excepcionalmente, pode ser tratado material abaixo de 0,5 mm.

## 5. PRINCÍPIOS DA SEPARAÇÃO EM MEIO DENSO

- Estes tamanhos são condicionados pelas eficiências de separação dos próprios equipamentos.
- Em meio dinâmico (p. ex. ciclone de meio denso) a aceleração da gravidade é substituída pela aceleração centrífuga.

## 5. PRINCÍPIOS DA SEPARAÇÃO EM MEIO DENSO

- Portanto, tem-se a seguinte equação para a separação dinâmica.

$$F_{RC} = (M_p - M_f) \cdot \frac{v^2}{r}$$

## 5. PRINCÍPIOS DA SEPARAÇÃO EM MEIO DENSO

- Onde:
  - $F_{RC}$  é a força centrífuga resultante;
  - $M_f$  é a massa do fluido deslocado;
  - $M_p$  é a massa da partícula;
  - $r$  é o raio do hidrociclone;
  - $v$  é a velocidade tangencial de entrada da alimentação.

## 5. PRINCÍPIOS DA SEPARAÇÃO EM MEIO DENSO

- A grande superioridade da parcela  $v^2/r$  em relação à  $g$  (da força centrífuga em relação à gravitacional), permite maior capacidade de separação aos separadores dinâmicos bem como a separação de partículas a uma granulometria mais fina.

## 6. PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS

- Os equipamentos de separação estática possuem, normalmente, recipientes de diversas formas, dentro dos quais são introduzidos a alimentação e o meio denso.
- O produto flutuado é removido simplesmente por transbordo ou com a ajuda de pás.

## 6. PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS

- A remoção do produto afundado já é um pouco mais difícil e exige criatividade no projeto do separador.
- Um dos cuidados que se deve ter na remoção do produto afundado é evitar que haja grande carreamento do meio denso, ocasionando assim distúrbios provocados por correntes descendentes dentro do recipiente de separação.

## 6. PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS

- A remoção do produto afundado pode ser feita por meios pneumáticos, bombeamento, elevadores de caçambas de chapas perfuradas, sistemas de arraste etc.
- Os separadores estáticos trabalham com maior volume de meio denso que os dinâmicos, propiciando, assim, um tempo de residência na separação, consideravelmente maior nos primeiros.

## 6. PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS

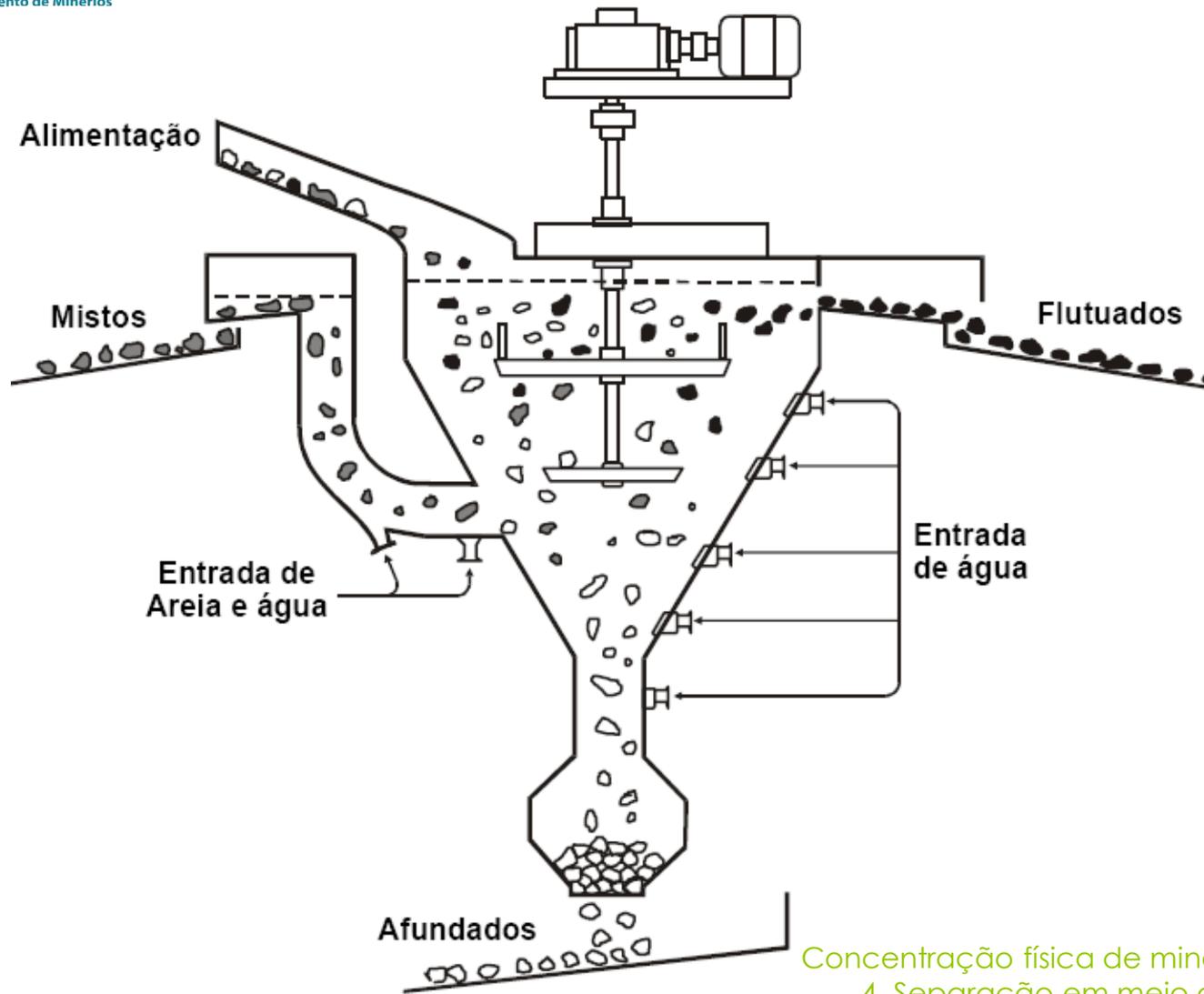
- Em muitos separadores, todo o meio denso é alimentado perto do topo do tanque, ou no topo da suspensão; em alguns, parte do meio denso é alimentado no fundo do tanque para permitir correntes ascendentes; há ainda casos em que o meio denso é alimentado em vários níveis, para formar correntes horizontais, ou para manter a homogeneidade deste em todo o tanque.

## 6. PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS

- Considerando a ampla aplicação da separação em meio denso, especialmente no beneficiamento de carvões com granulometria grossa, não é de se surpreender a existência de um grande número de tipos e de fabricantes de equipamentos para esse fim, em uso comercial.
- Não menos do que 74 tipos desses equipamentos são ou já foram usados, pela indústria mineral ou carbonífera.

## 6. PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS

- Os separadores tipo cone foram os primeiros usados com sucesso comercial na separação em meio denso (Cone Chance, em 1917).
- Estes foram também os primeiros a usar galena e magnetita como meios de separação.



**Cone de Chance**

Concentração física de minerais -  
4. Separação em meio denso

## 6. PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS

- Os separadores de cone são os mais indicados para o tratamento de carvões grossos, na faixa de 3 a 100 mm, especialmente nos Estados Unidos, onde os carvões possuem grande proporção de material leve.
- São menos indicados para alimentações com maior proporção de material pesado.

## 6. PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS

- Separadores de tambor e de calhas, por outro lado, são indicados para alimentações com grande quantidade de pesados, fato que os tornam populares no campo de tratamento de minérios, onde a proporção de pesados chega alcançar 80%, ou no beneficiamento de carvões, onde muitas vezes a proporção de pesados na alimentação chega a ser superior a 50%, como nos carvões europeus e brasileiros.

## 6. PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS

- Os separadores dinâmicos, com um dimensionamento adequado dos orifícios de entrada da alimentação e saída dos produtos, podem tratar alimentações com uma proporção variável de leves para pesados.

## 6. PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS

- Os fatores que influenciam na seleção do tipo de equipamento são:
  - Capital disponível;
  - Espaço requerido para a instalação;
  - Tamanho máximo da partícula a ser tratada;
  - Capacidade de alimentação;
  - Densidade de separação.

## 6. PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS

- A alimentação deve ser molhada antes da entrada no separador, para uma melhor eficiência de separação.
- Serão descritos, a seguir, alguns dos principais equipamentos de separação estática e dinâmica mais empregados na indústria mineral e carbonífera.

## 6.1. Equipamentos industriais de separação estática

- Os equipamentos industriais de separação estática a serem estudados são:
  - Separador de cone do tipo WEMCO;
  - Separador de tambor;
  - Separador Teska;
  - Separador Drewboy;
  - Separador Norwalt.

## 6.1.1. Separador de cone do tipo WEMCO

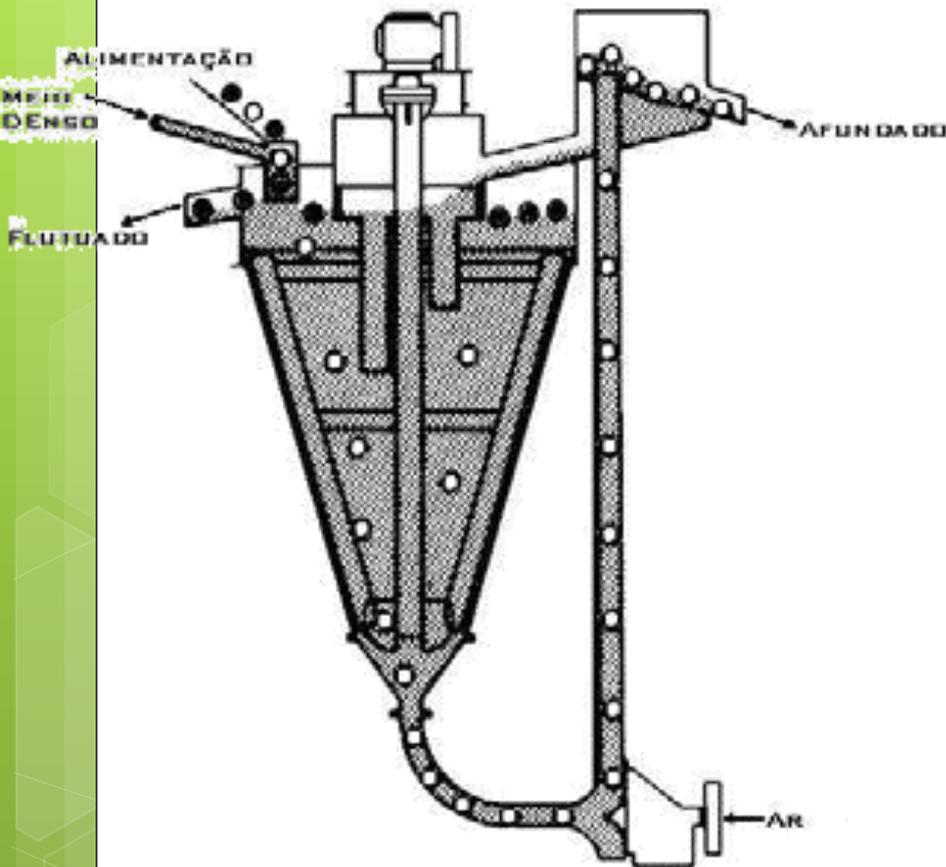
- É um tipo de separador de cone que consiste, essencialmente, de um tanque cônico, de até 6 m de diâmetro, podendo tratar partícula de até 10 cm de diâmetro com capacidade de até 500 t/h.

## 6.1.1. Separador de cone do tipo WEMCO

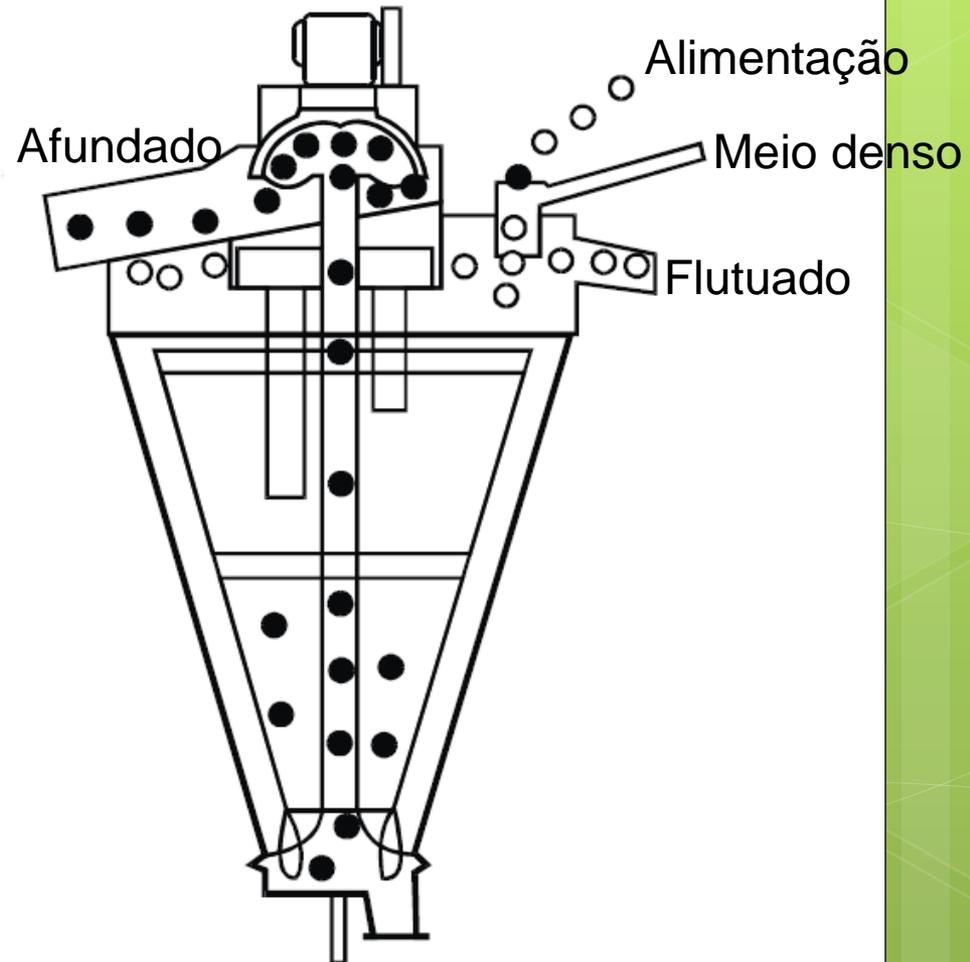
- Neste tipo de separador existe um mecanismo interno de agitação lenta, o bastante para manter o meio em suspensão uniforme e auxiliar o movimento do produto flutuado em direção à periferia do separador, onde é descarregado por transbordo, com uma certa porção do meio, que é recuperado no circuito.

## 6.1.1. Separador de cone do tipo WEMCO

- O produto afundado é removido do cone por meio de bomba ou de fluxo ascendente externo ou interno com ar comprimido (*air lift*).
- Em ambos, parte do meio denso que sai com o afundado é drenado, e volta diretamente para dentro do cone.



Com bomba externa



Com bomba de ar comprimido

## 6.1.1. Separador de cone do tipo WEMCO

- Os separadores de cone foram desenvolvidos, originalmente, para beneficiamento de minérios, com alta eficiência metalúrgica, também no tratamento de partículas finas.
- Foram, também, os primeiros tipos de equipamentos usados nos Estados Unidos para beneficiar carvão, usando a magnetita na preparação do meio denso.

## 6.1.2. Separador de tambor

- Os separadores de tambor convencionais são usados amplamente no beneficiamento de minérios metálicos e não metálicos, com granulometria de alimentação variando de 5 a 300 mm.
- Consistem de um tambor cilíndrico rotativo, provido de elevadores (ressaltos) que são fixados na parede interna do tambor e que se destinam a remover, continuamente do circuito, o produto afundado durante a separação.

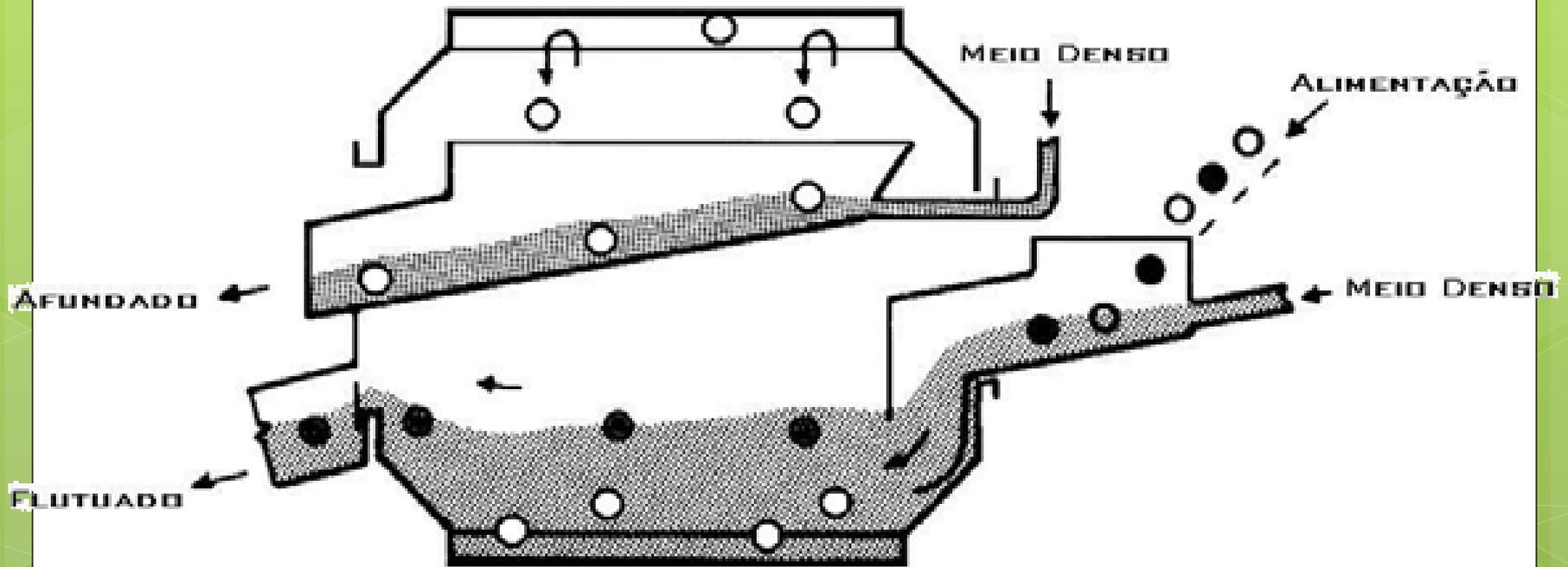
## 6.1.2. Separador de tambor

- O produto flutuado sai por transbordo em um vertedouro localizado na extremidade oposta à alimentação.
- O separador de tambor pode ser usado para obtenção de dois ou três produtos de separação.

## 6.1.2. Separador de tambor

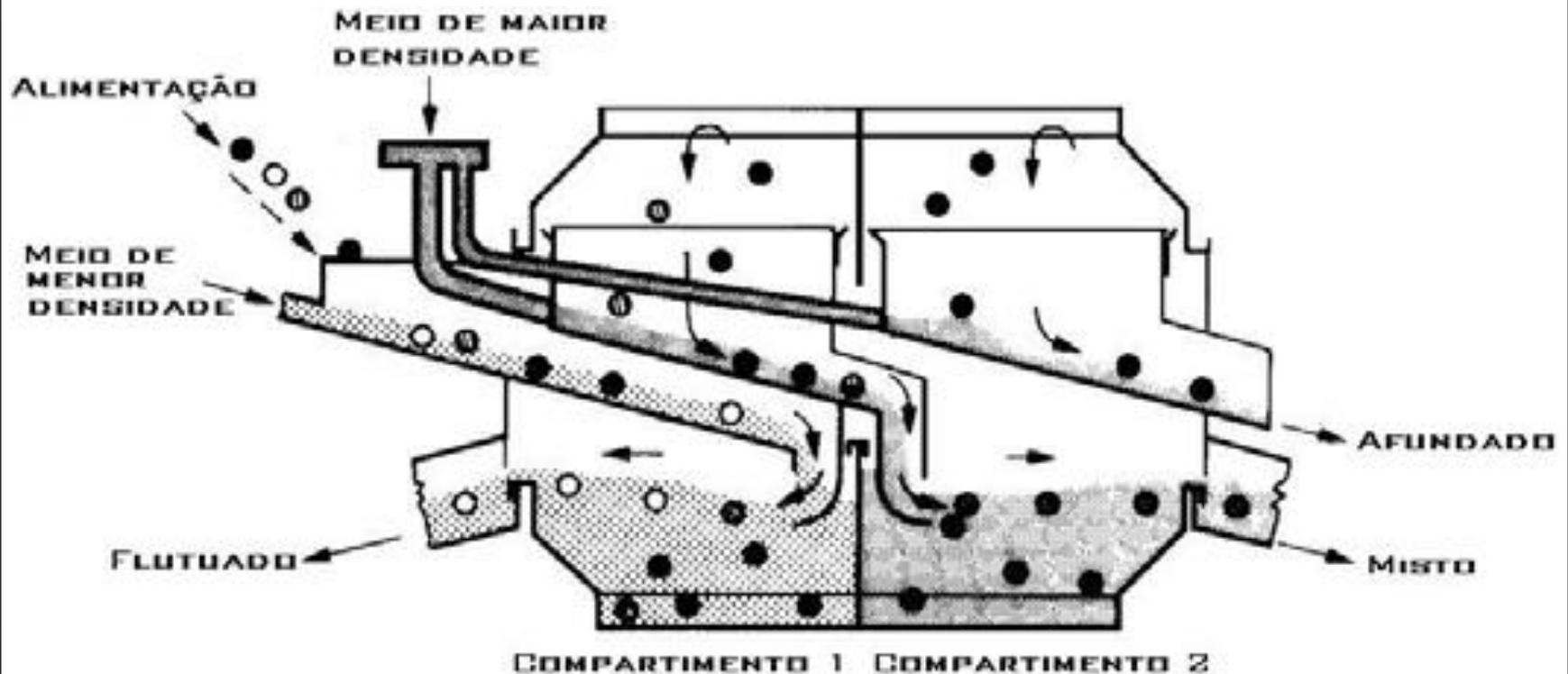
- Para dois produtos de separação (flutuado e afundado), este é constituído de um só compartimento de separação, enquanto que aqueles com três produtos de separação (mais um produto misto) o mesmo é constituído de dois compartimentos de separação, operando independentemente um do outro.

## 6.1.2. Separador de tambor



Separador de tambor de um só compartimento

## 6.1.2. Separador de tambor



COMPARTIMENTO 1 - MENOR DENSIDADE  
COMPARTIMENTO 2 - MAIOR DENSIDADE

Separador de tambor de dois compartimentos

## 6.1.2. Separador de tambor

- Esses separadores são construídos de vários tamanhos, até 4,3 m de diâmetro por 6 m de comprimento, com capacidade máxima de 450 t/h.
- Longitudinalmente, existem placas divisórias internas, que separam a superfície do flutuado, da descarga do afundado.

## 6.1.2. Separador de tambor

- A pequena profundidade do meio denso nesses equipamentos, em comparação com os separadores de cone, minimiza a sedimentação das partículas do meio denso, dando uma maior uniformidade na densidade em toda a extensão do tambor.
- A agitação provocada pelos elevadores também contribui para uma melhor homogeneização do meio denso.

## 6.1.2. Separador de tambor

- No separador de três produtos, ou de dois compartimentos, o produto afundado em uma densidade menor, no primeiro compartimento, alimenta o segundo compartimento onde a densidade de separação é mais alta.
- Do primeiro compartimento sai o produto leve (flutuado) e do segundo compartimento saem os produtos pesado (afundado) e misto.

## 6.1.3. Separador Teska

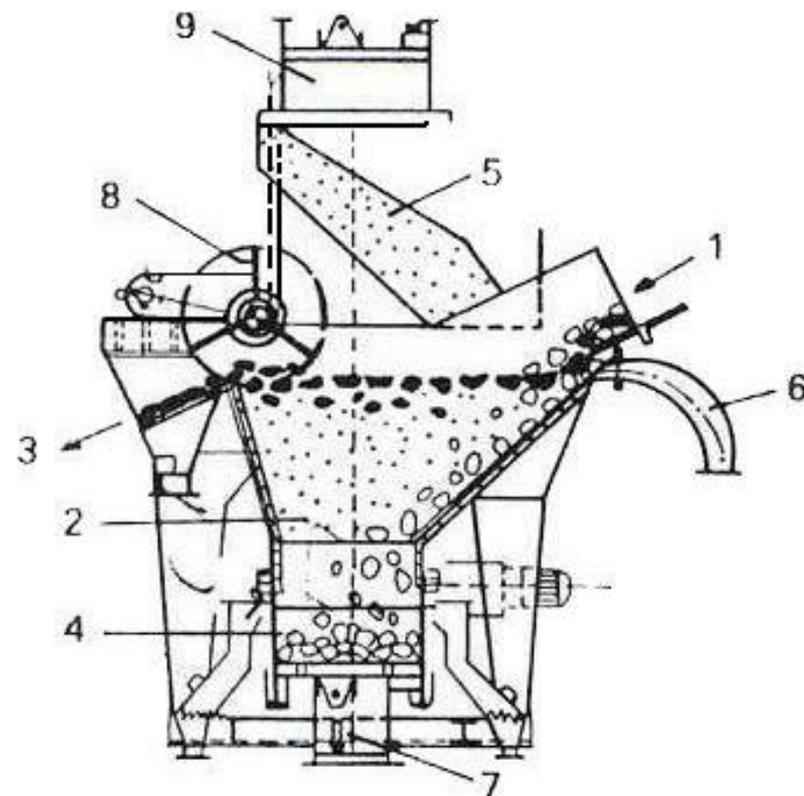
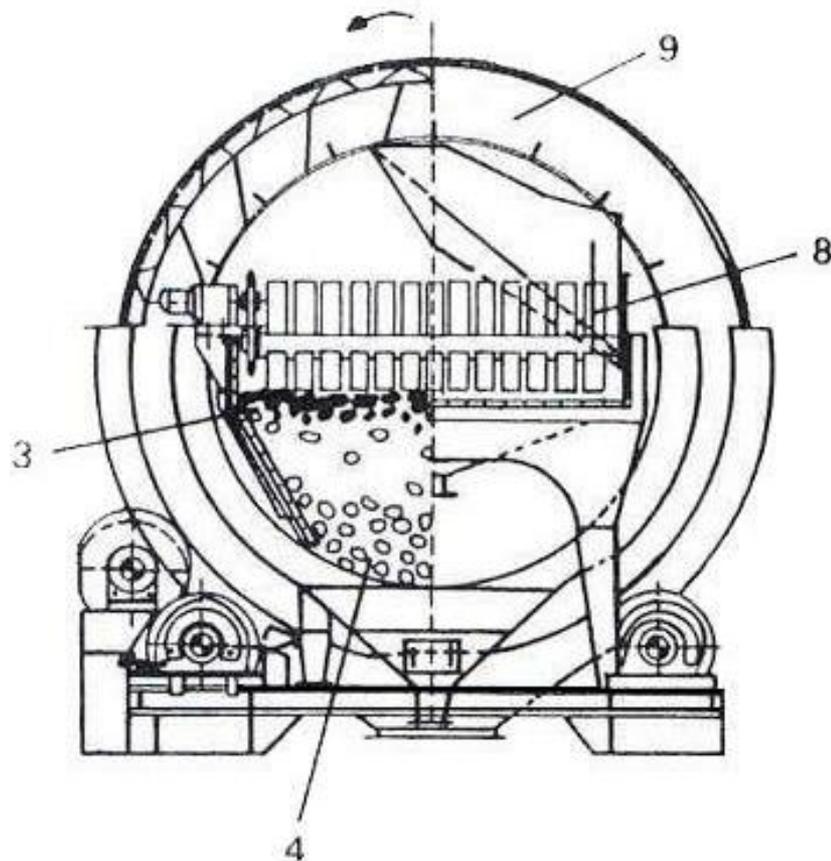
- Foi desenvolvido na Alemanha Ocidental em 1959, e hoje é produzido pela Humboldt Wedag, essencialmente para a indústria carbonífera.
- Consiste de um tambor com caçambas internas de chapas perfuradas, para transporte do material afundado e drenagem do meio denso.

## 6.1.3. Separador Teska

- O tambor gira lentamente dentro de um tanque aberto que contém o meio denso.
- O produto flutuado é descarregado na extremidade oposta à da alimentação, por transbordo ou por auxílio de pás, em uma calha.

## 6.1.3. Separador Teska

- Esse produto é descarregado em peneiras primárias para a drenagem do meio denso, que retorna diretamente ao tanque do separador.
- O produto afundado no tanque do meio denso é elevado pelas caçambas do tambor e descarregado em uma outra calha.



1- ALIMENTAÇÃO

2- TANQUE DE SEPARAÇÃO

3- DESCARGA DE FLUTUADOS

4- AFUNDADO

5- DESCARGA DE AFUNDADOS

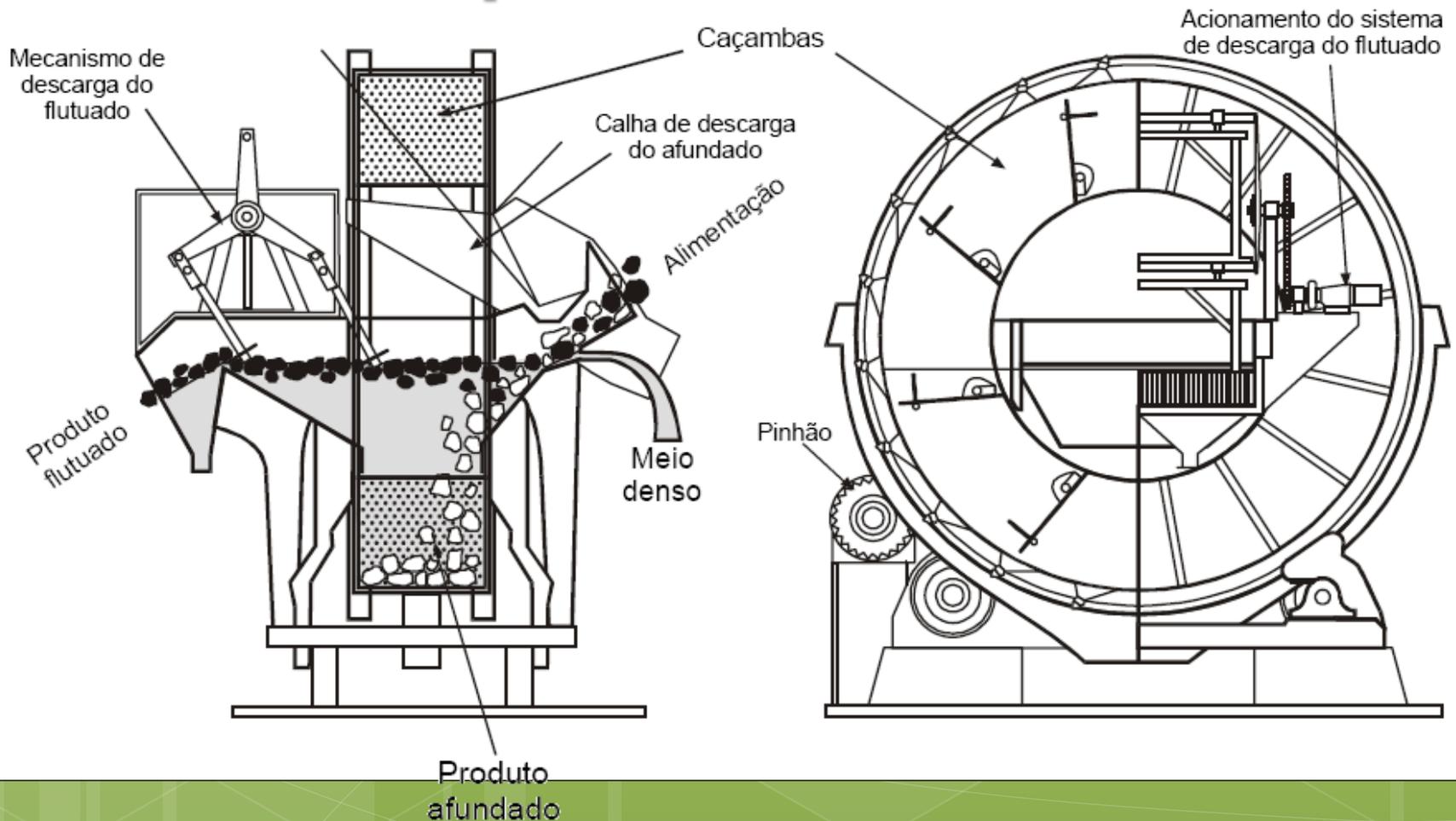
6- ENTRADA DE MEIO DENSO

7- DESCARGA DE MEIO DENSO

8- PÁS

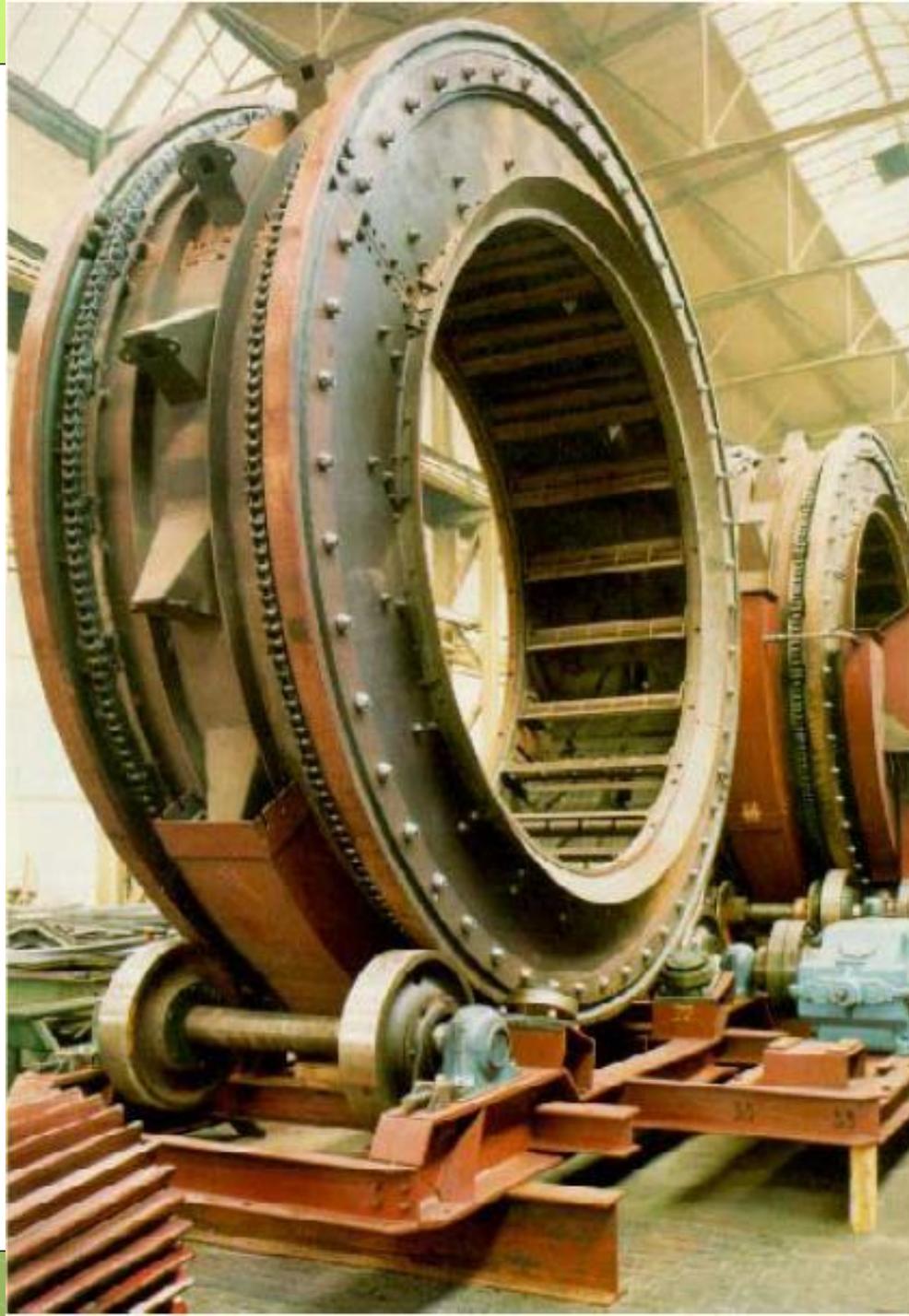
9- RODA COM CAÇAMBAS

## 6.1.3. Separador Teska



## 6.1.3. Separador Teska

- Uma característica do separador Teska é o controle da corrente descendente de meio denso que sai das caçambas de chapas perfuradas e é descarregado no tanque através de orifícios ajustáveis.
- Isto é importante para evitar alguma tendência de formação de gradiente de densidade dentro do tanque do separador.



03/12/2012





**CET**  
Curso de Especialização  
Tratamento de Água

03/12/2012



## 6.1.4. Separador Drewboy

- Este separador pode ser considerado como uma modificação do separador Teska, onde o tambor, com características diferentes, opera na posição inclinada, e não na vertical.
- Foi desenvolvido na França, sendo muito usado na Europa e especialmente na Grã Bretanha e Alemanha, no beneficiamento de carvões, porém pouco usado nos Estados Unidos, devido à sua relativa baixa capacidade para flutuados.

## 6.1.4. Separador Drewboy

- O Drewboy faz a separação em dois produtos; se um terceiro produto é desejado, será necessária a instalação de dois desses equipamentos, em série.
- A instalação de dois separadores em série é muito comum, tanto no caso dos separadores Drewboys, como para os separadores Teska, no beneficiamento de carvões.

## 6.1.4. Separador Drewboy

- No separador Drewboy, a alimentação entra em uma das extremidades do tanque e os produtos leves (flutuados) são descarregados na extremidade oposta; enquanto os produtos pesados (afundados) são removidos do fundo do tanque por uma roda, constituída de compartimentos radiais, montada em um eixo inclinado.

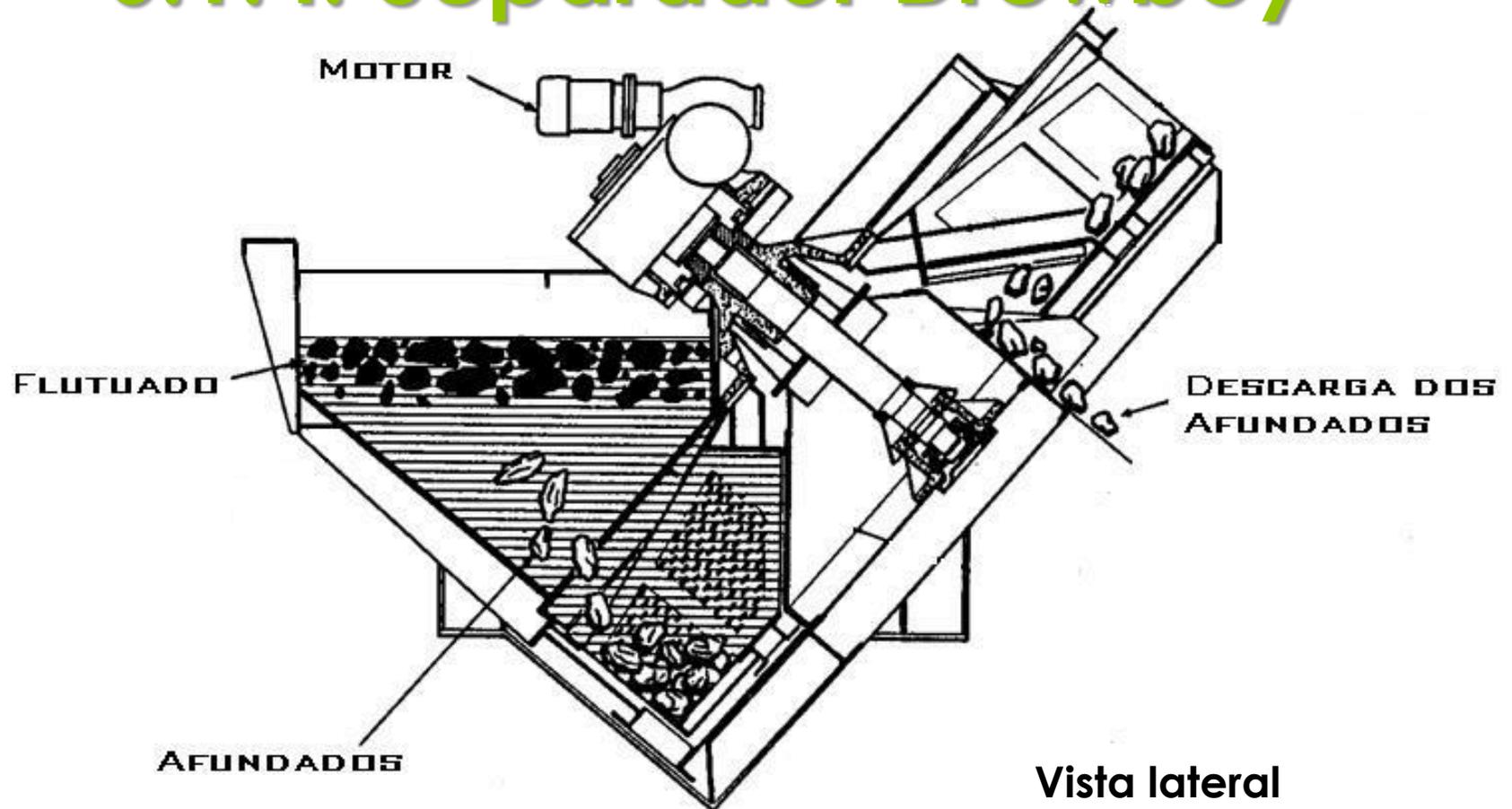
## 6.1.4. Separador Drewboy

- Este eixo é suportado por mancais localizados fora do compartimento do meio denso.
- A alimentação do meio denso pode ser feita pelo fundo do tanque ou por cima, próxima da alimentação do minério ou carvão.

## 6.1.4. Separador Drewboy

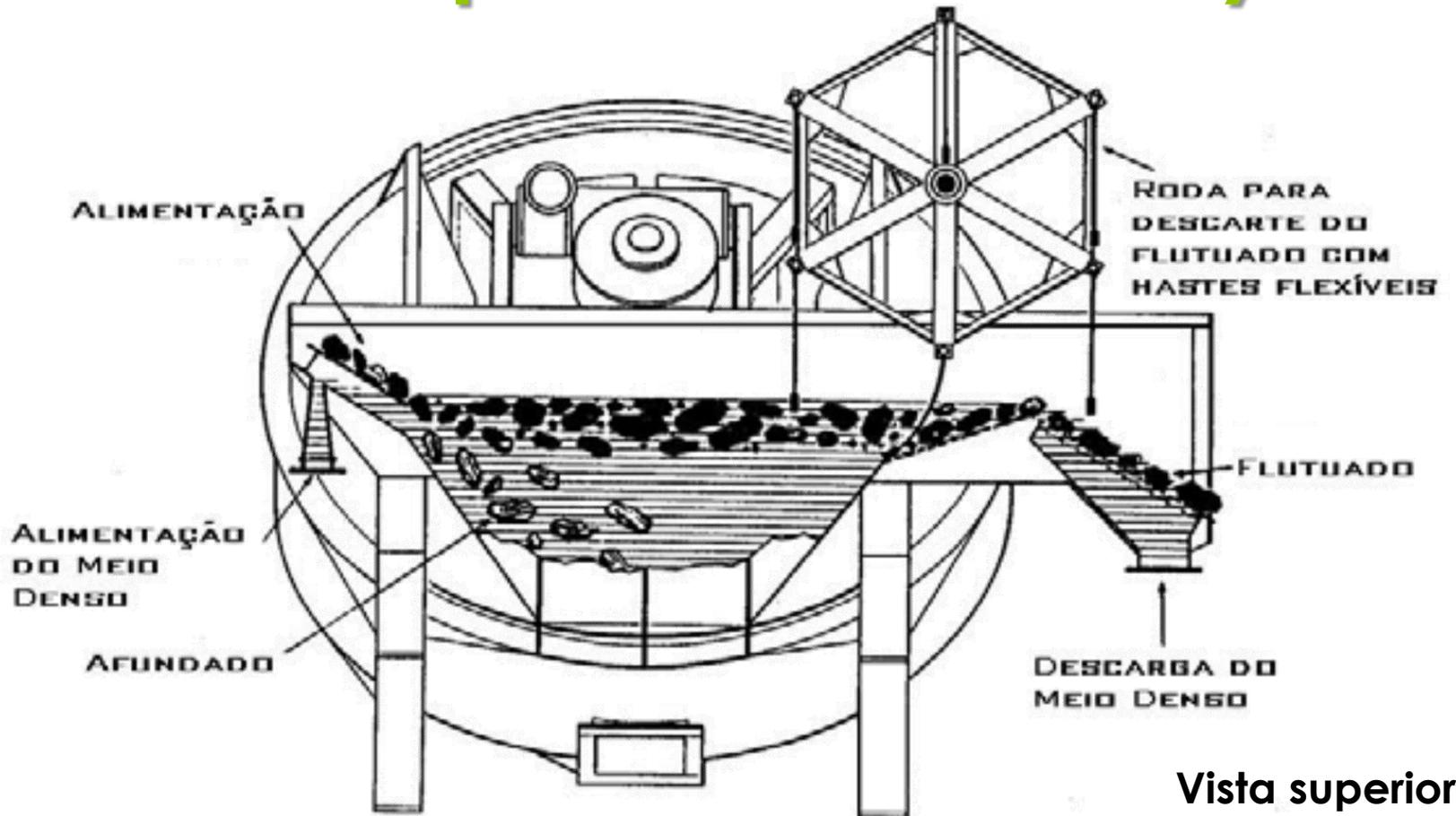
- A proporção do meio denso que entra por esses dois pontos é controlada por válvulas.

## 6.1.4. Separador Drewboy



Vista lateral

## 6.1.4. Separador Drewboy



Vista superior

## 6.1.5. Separador Norwalt

- Este equipamento foi desenvolvido na África do Sul, onde existem muitas instalações desse equipamento nas usinas de beneficiamento de carvões.
- O Norwalt consiste de um tanque anular, com uma parte interna cônica, que protege o mecanismo de acionamento do sistema de remoção do produto afundado.

## 6.1.5. Separador Norwalt

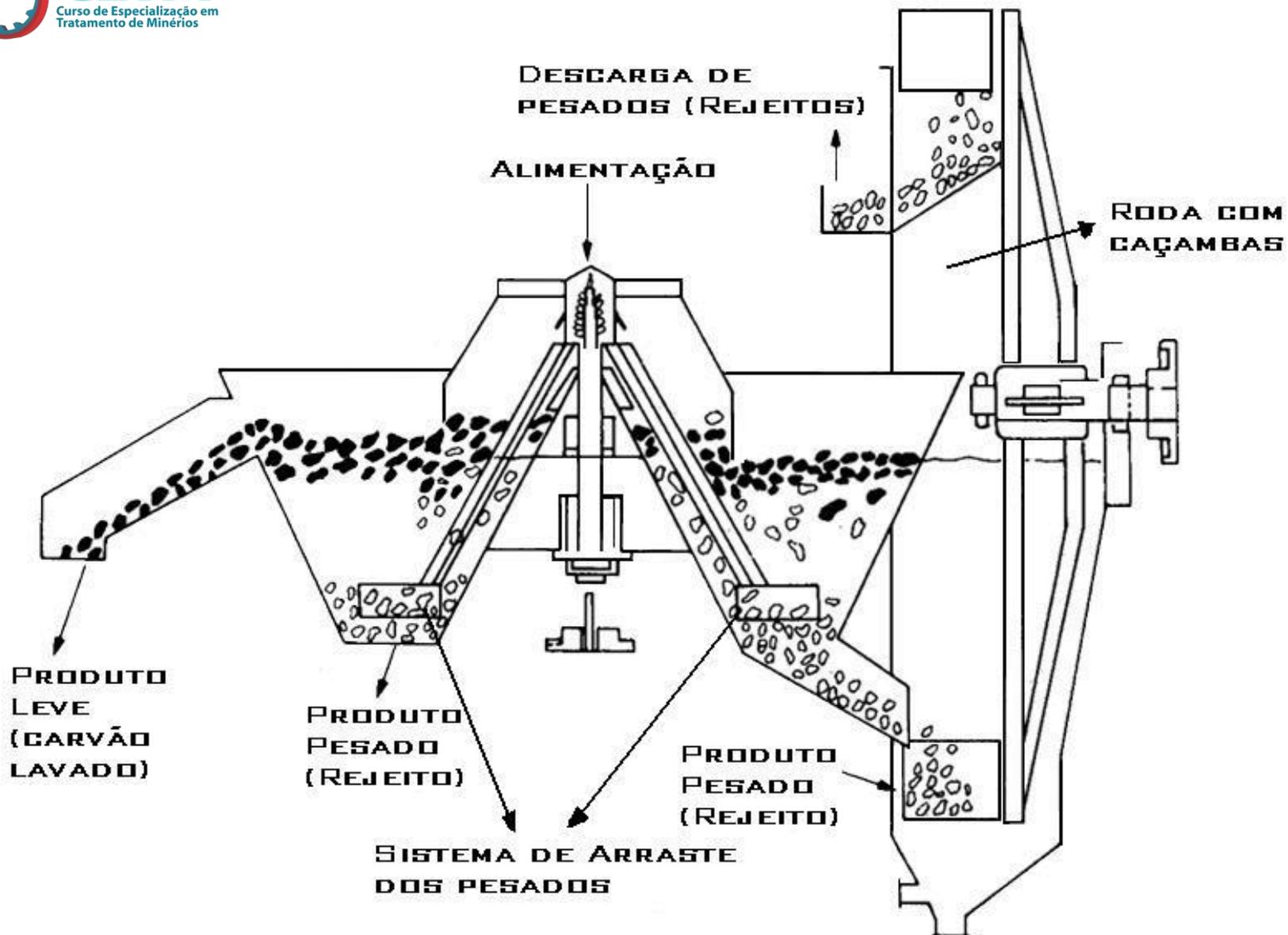
- A alimentação é introduzida no separador, mais para o centro do equipamento, dentro de uma cortina anular que imerge um pouco no tanque de meio denso.
- A cortina força a alimentação a imergir no meio denso, evitando a saída de produtos pesados com os produtos leves (carvão lavado).

## 6.1.5. Separador Norwalt

- Os produtos leves são descarregados, por transbordo, nos vertedouros laterais do separador, enquanto que os produtos pesados são removidos continuamente do fundo do separador por um sistema de arraste, que gira em torno de um eixo central e conduz todo o material à uma descarga única conectada a um elevador de caçambas ou a um sistema similar ao Drewboy (tambor inclinado).

## 6.1.5. Separador Norwalt

- O sistema de remoção dos pesados evita, também, a decantação das partículas que compõem o meio denso, mantendo-as em suspensão.



## 6.2. Equipamentos industriais e de laboratório de separação dinâmica

- Os equipamentos industriais e de laboratório de separação dinâmica a serem estudados são:
  - Ciclone de meio denso;
  - Separador Dynawhirlpool (DWP);
  - Separador Tri-Flo;
  - Afunda-Flutua (*Sink and Float*) – Laboratório;

## 6.2.1. Ciclone de meio denso

- Os ciclones de meio denso são muito usados no beneficiamento de minérios e, principalmente no processamento de carvões.
- A alta força centrífuga envolvida, possibilita a separação, com sucesso, de partículas a granulometrias mais finas do que por outros métodos gravíticos.

## 6.2.1. Ciclone de meio denso

- A alimentação dos ciclones de meio denso não deve conter partículas abaixo de 0,5 mm, para evitar a contaminação do meio denso, com esta fração fina, minimizando, assim, as perdas do meio denso no processo.
- A atuação de forças de cisalhamento dentro dos ciclones permite a utilização de partículas mais finas de ferro-silício ou magnetita na constituição do meio denso, o que é essencial para a estabilidade da suspensão durante o processo de separação.

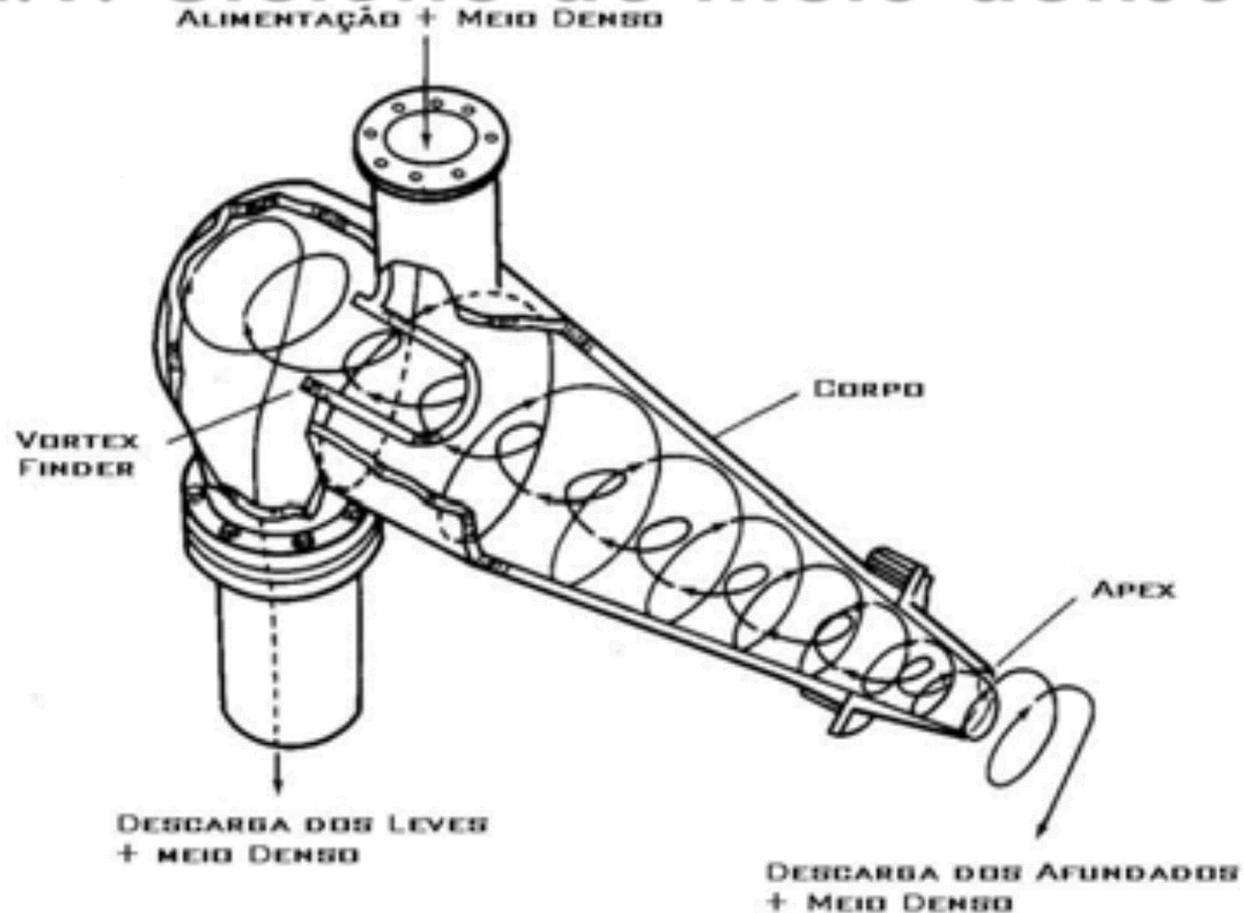
## 6.2.1. Ciclone de meio denso

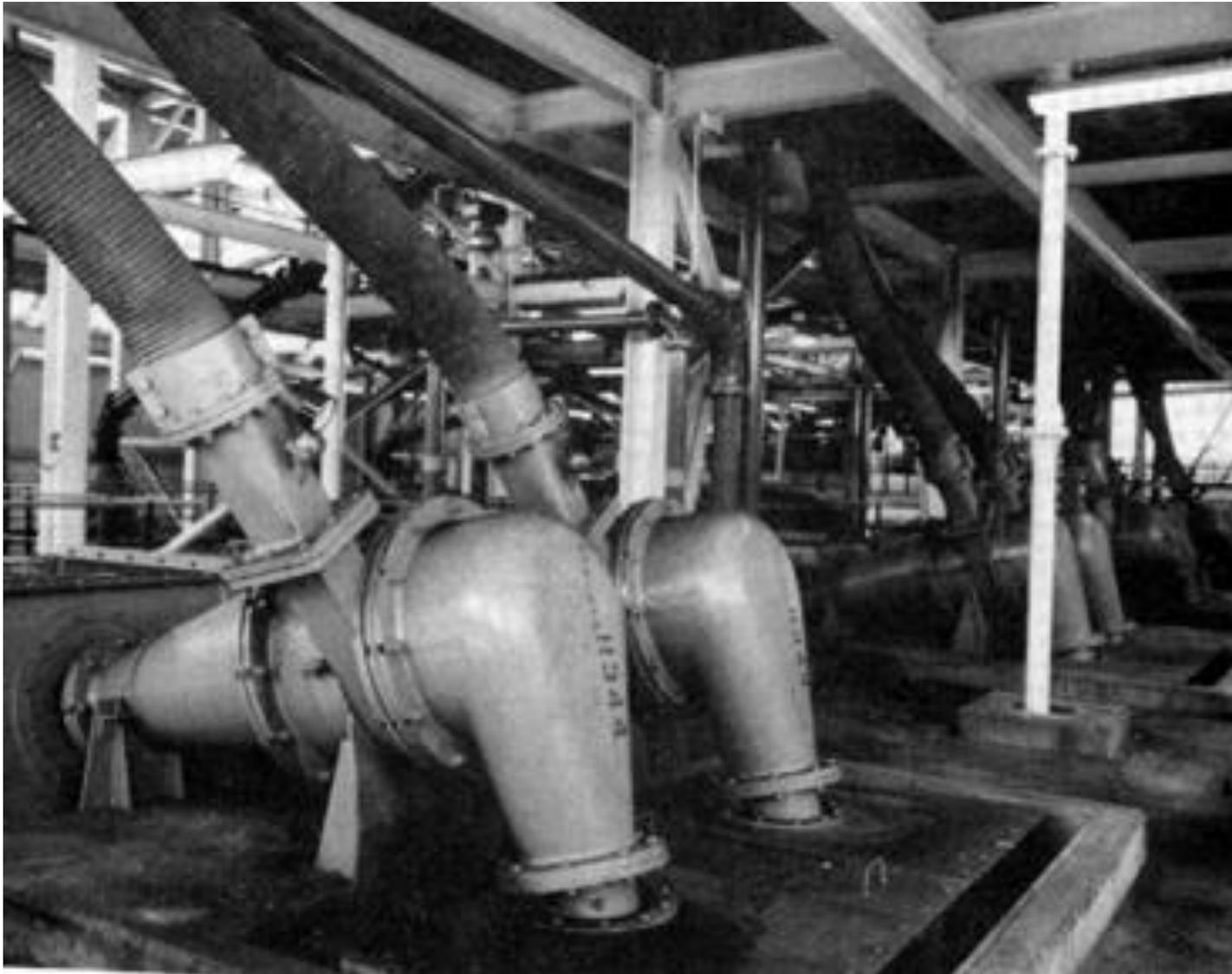
- O princípio de operação é bastante similar ao do ciclone convencional de classificação.
- A alimentação e o meio denso são introduzidos, tangencialmente e sob pressão no ciclone, o qual idealmente é instalado em posição inclinada possibilitando que a alimentação seja feita por gravidade, de uma determinada altura manométrica.

## 6.2.1. Ciclone de meio denso

- No caso dos ciclones DSM (***Dutch State Mines***), esta altura situa-se em torno de nove vezes o diâmetro do ciclone, no caso de beneficiamento de carvões e diamantes.

## 6.2.1. Ciclone de meio denso





## 6.2.1. Ciclone de meio denso

- A alimentação por gravidade é sempre desejada, pois reduz a degradação da alimentação, que normalmente ocorre quando se usa bombeamento.
- Os produtos pesados movem-se ao longo da parede do ciclone e são descarregados no ápex, *underflow*, enquanto que os leves, *overflow*, se descarregam no *vortex finder*.

## 6.2.1. Ciclone de meio denso

- O meio denso forma um gradiente de densidade dentro do hidrociclone, que aumenta no sentido do centro para a parede interna do hidrociclone.

## 6.2.2. Separador Dynawhirpool (DWP)

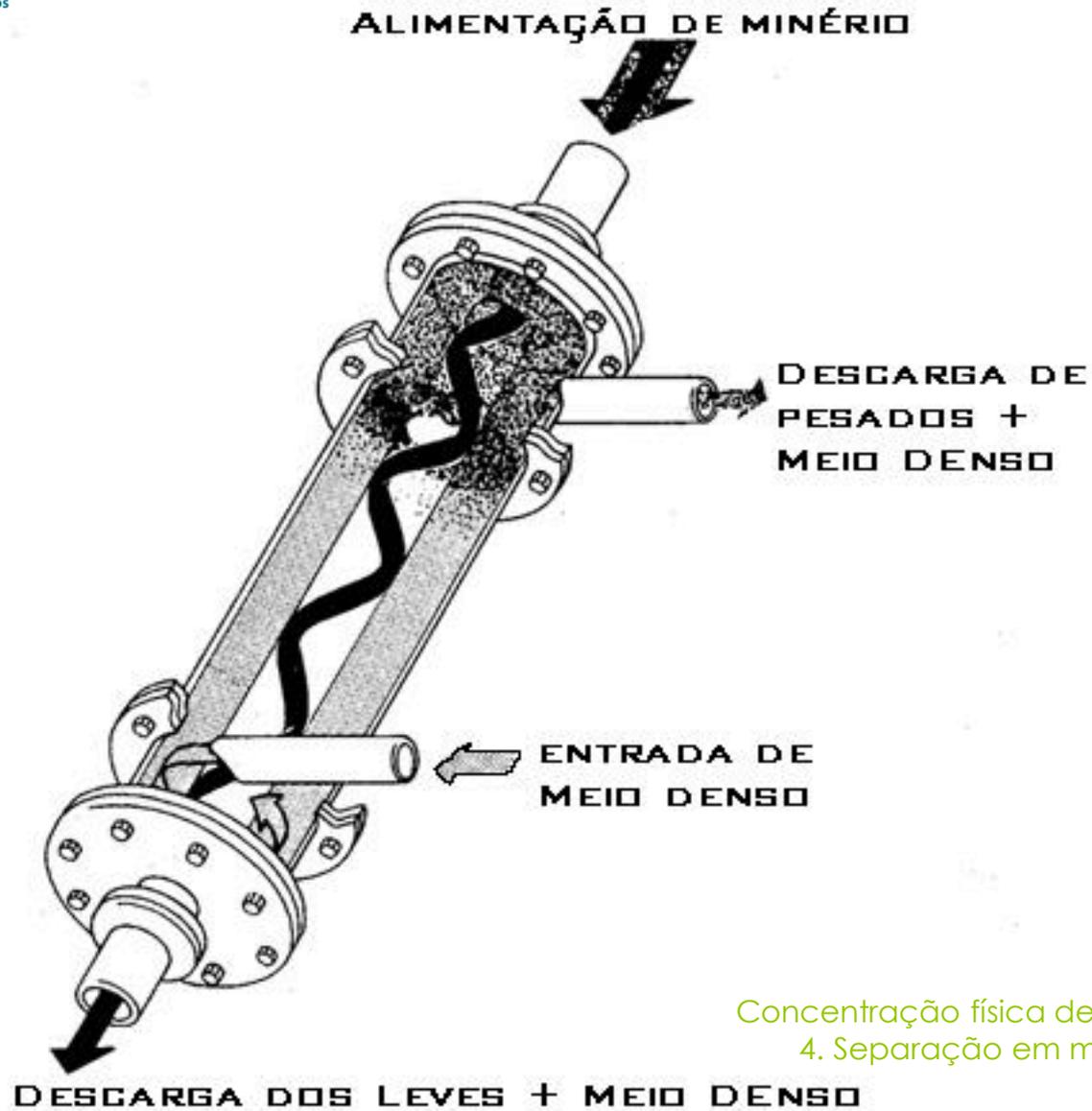
- O separador DWP foi originalmente desenvolvido, em 1960, para tratamento de finos de carvão, nos Estados Unidos, mas agora é bastante usado para tratar carvões e minérios, principalmente na faixa de 0,5 a 15 mm.
- O DWP consiste de um cilindro de comprimento e diâmetro definidos, com aberturas nas extremidades sob forma de tubos, por onde são feitas a alimentação do minério e a descarga do flutuado.

## 6.2.2. Separador Dynawhirpool (DWP)

- Existem ainda dois tubos laterais localizados nas partes inferior e superior do cilindro, que permitem a entrada tangencial do meio denso e a descarga do afundado, respectivamente.
- A maior parte do meio denso (aproximadamente 90%) é alimentada, por bombeamento, na parte lateral e inferior do cilindro; o restante entra junto com a alimentação, para auxiliar a entrada do mesmo no equipamento.

## 6.2.2. Separador Dynawhirpool (DWP)

- Esse cilindro opera inclinado, em relação a horizontal, de  $25^\circ$  para minérios e  $15^\circ$  para carvão.
- No Brasil, esse equipamento é utilizado no beneficiamento de minérios de diamante, bauxita refratária e fluorita.



Concentração física de minerais -  
4. Separação em meio denso

## 6.2.2. Separador Dynawhirpool (DWP)

- Foi usado intensamente na ICOMI, com finos de minério de manganês e na Cia. Mineira de Metais, com minério oxidado de zinco.
- A forma tangencial de entrada do meio denso na parte inferior e lateral do aparelho propicia a formação de um *vortex* ascendente ao longo de todo o comprimento do aparelho, cuja descarga pela abertura tangencial lateral superior, contém o produto pesado (afundado) da separação.

## 6.2.2. Separador Dynawhirpool (DWP)

- O tubo de entrada da alimentação é acoplado a um funil alimentador, por onde entra o material a ser tratado, com parte do meio denso.
- As partículas leves da alimentação não chegam a penetrar no *vortex* ascendente de meio denso, percorrendo, assim, a sua face interna e sendo descarregadas com o meio denso na extremidade inferior do DWP, reduzindo muito a degradação das partículas leves.

## 6.2.2. Separador Dynawhirpool (DWP)

- As partículas pesadas da alimentação penetram no *vortex* ascendente em direção à parede interna do cilindro e são logo descarregadas na abertura lateral superior através de uma mangueira de descarga, com parte do meio denso.
- Como a descarga das partículas pesadas está localizada próxima à alimentação, os pesados são removidos da unidade quase que de imediato após entrarem, reduzindo, consideravelmente, a degradação das partículas pesadas.

## 6.2.2. Separador Dynawhirpool (DWP)

- Somente as partículas de densidades próximas à do meio denso, é que entram em contato com as paredes internas do cilindro por um tempo mais prolongado.
- A descarga tangencial dos pesados, é conectada à uma mangueira flexível; a altura desta mangueira pode ser usada para ajustar a pressão de topo e, desta forma, auxiliar no controle da densidade de corte.

## 6.2.2. Separador Dynawhirpool (DWP)

- A capacidade do DWP é de até 100 t/h.
- Este equipamento apresenta algumas vantagens sobre outros tipos de separadores centrífugos de meio denso.

## 6.2.2. Separador Dynawhirpool (DWP)

- Além de propiciar uma menor degradação dos produtos da separação, menor desgaste operacional do equipamento, e ter bom desempenho de separação, apresenta custos operacionais mais baixos, em razão de somente o meio denso ser alimentado por bombeamento.

## 6.2.2. Separador Dynawhirpool (DWP)

- A separação no DWP baseia-se na criação e controle de um *vortex* ascendente, onde sua forma e estabilidade são afetadas pelos seguintes grupos de variáveis:
  - Geométricas;
  - Operacionais.

## 6.2.2. Separador Dynawhirpool (DWP)

### o **Geométricas**

- o Comprimento do cilindro;
- o Diâmetro do cilindro;
- o Diâmetro e comprimento, dentro do cilindro, dos tubos de alimentação e de saída do flutuado;
- o Diâmetro de entrada do meio denso e de saída do afundado.

## 6.2.2. Separador Dynawhirpool (DWP)

- **Operacionais**

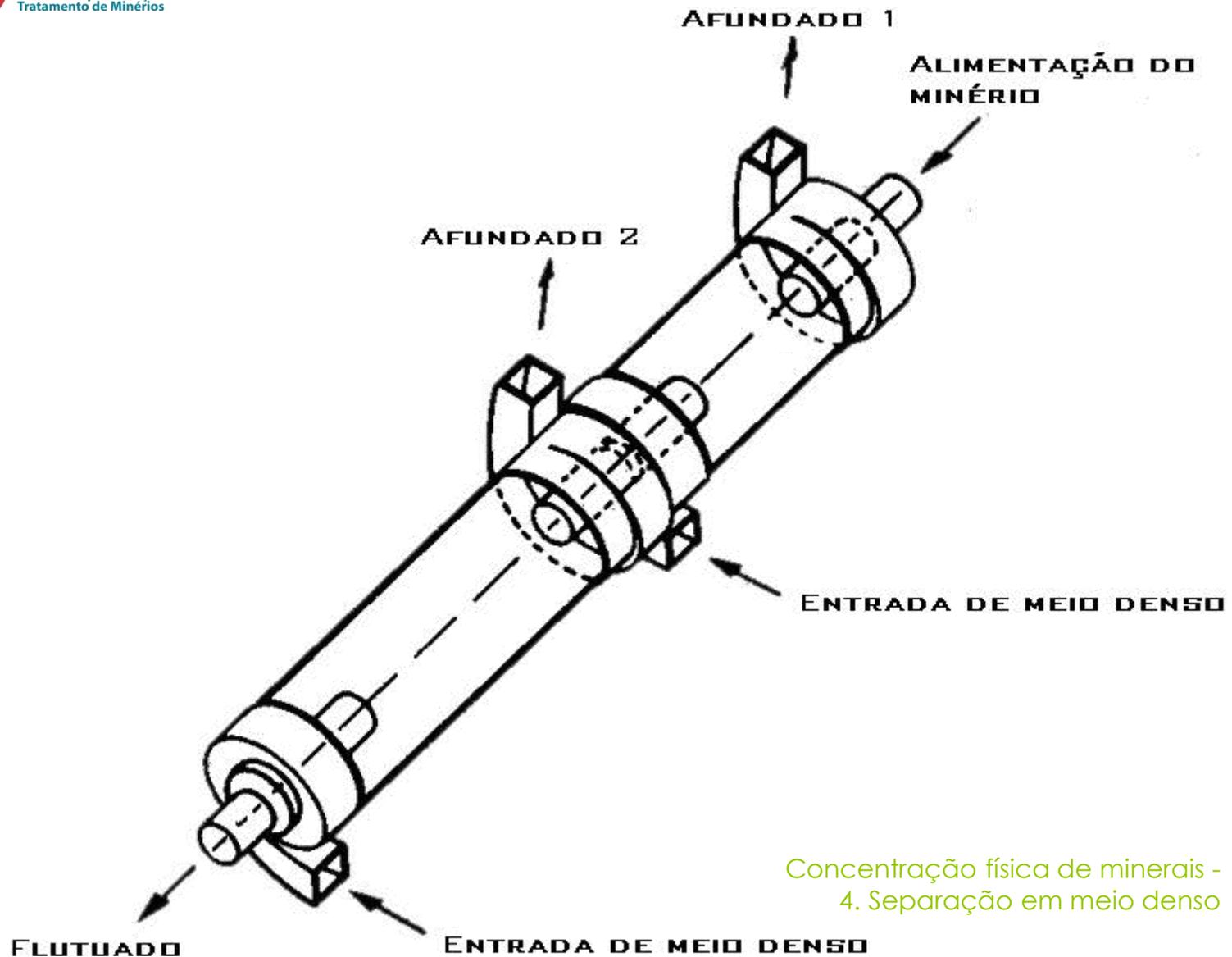
- Pressão de alimentação do meio denso;
- Pressão de descarga do afundado;
- Inclinação do DWP.

## 6.2.3. Separador Tri-Flo

- Este separador consiste em dois DWP(s) acoplados e é utilizado nas operações de beneficiamento de carvão, minerais metálicos e não metálicos.
- A entrada de meio denso e a saída da fração pesada são em forma de voluta.

## 6.2.3. Separador Tri-Flo

- Esta forma de entrada de alimentação produz menos turbulência do que a tangencial usada no DWP.
- Este separador opera em dois estágios. O produto flutuado que sai do primeiro estágio é retratado no segundo, com a mesma densidade do meio ou em densidade diferente.



Concentração física de minerais -  
4. Separação em meio denso

## 6.2.3. Separador Tri-Flo

- Por ser um separador de dois estágios, a separação resulta em três produtos, podendo ser usada para obtenção de concentrado (produto valioso), misto e rejeito.
- O misto obtido, dependendo da situação, pode ser cominuído, deslamado e retornar ao mesmo circuito, ou ser tratado em um circuito separado.

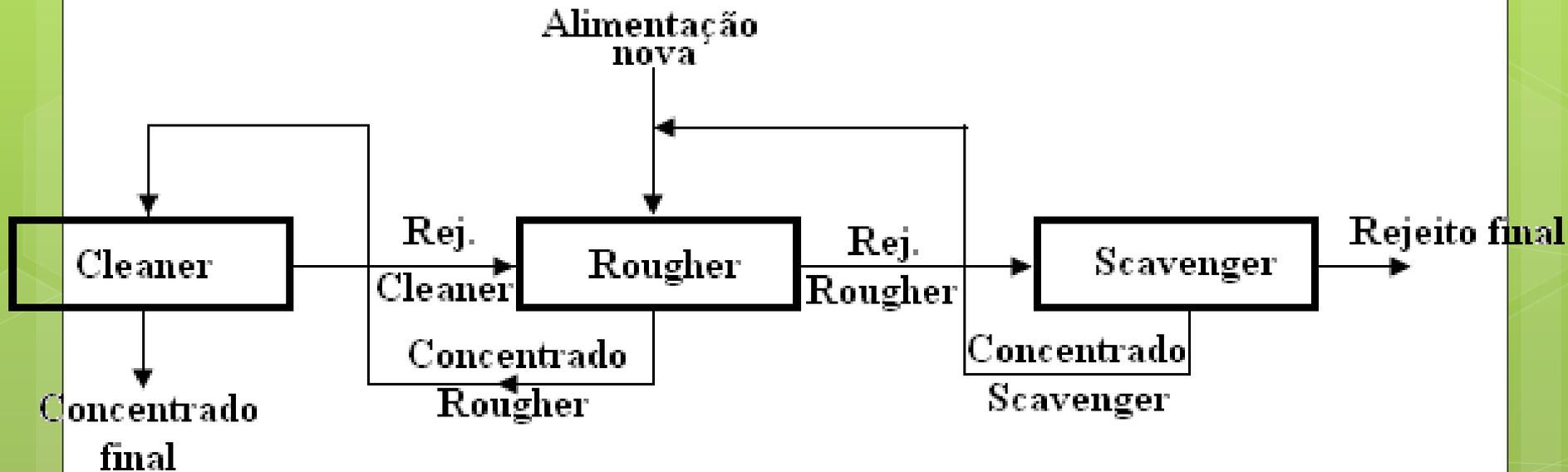
## 6.2.3. Separador Tri-Flo

- No caso de tratamento de minerais metálicos, o segundo estágio de separação funciona como estágio *scavenger*, aumentando assim a recuperação global no circuito.
- O segundo produto (concentrado *scavenger*) pode ser, ainda, rebritado e, após deslamagem, retornar também ao circuito.

## 6.2.3. Separador Tri-Flo

- Quando o separador é usado no tratamento de carvões, o segundo estágio purifica o flutuado do primeiro estágio, produzindo um carvão de alta pureza *cleaner*.
- Esses dois estágios de separação aumentam a eficiência da operação.

## 6.2.3. Separador Tri-Flo



Rougher – Concentrado pobre e rejeito que ainda contém minerais úteis.

Cleaner – Produz o concentrado rico (final) e um rejeito de teor elevado.

Scavenger – rejeito muito pobre (rejeito final) e um concentrado pobre.

Concentração física de minerais  
4. Separação em meio denso

## 6.2.3. Separador Tri-Flo

- Esses separadores são normalmente fabricados em quatro tamanhos, variando de 250 a 500 mm de diâmetro, com capacidade de 15 a 90 t/h, respectivamente.

## 6.2.4. Afunda-Flutua (*Sink and Float*) - Laboratório

- Alguns ensaios de separação em meio denso, com a utilização de suspensões, também podem ser realizados em laboratório, com equipamentos do tipo “Afunda-flutua” da *Denver Laboratory Company*.
- Os ensaios são realizados com material, normalmente, acima de 0,6 mm.

## 6.2.4. Afunda-Flutua (*Sink and Float*) - Laboratório

- O equipamento consiste de dois compartimentos cilindro-cônicos que se comunicam por meio de uma calha.
- Estes dois compartimentos possuem peneiras nos fundos das partes cilíndricas, que permitem a circulação do meio denso.

## 6.2.4. Afunda-Flutua (*Sink and Float*) - Laboratório

- O meio denso circula, por bombeamento, no sentido do compartimento maior para o menor.



**CETM**  
Curso de Especialização  
Tratamento de Mineração

03/12/2012



Concentração física de minerais -  
4. Separação em meio denso

## 6.2.4. Afunda-Flutua (*Sink and Float*) - Laboratório

- Normalmente, realizam-se ensaios nesse tipo de equipamento, quando se deseja verificar a eficiência de corte em uma densidade levantada em ensaios densimétricos, ou para preparar uma certa quantidade de produto para ensaios posteriores de aplicação industrial, utilizando material com granulometria grossa.

## 6.2.4. Afunda-Flutua (*Sink and Float*) - Laboratório

- Neste último caso, a preparação deste material seria mais onerosa e mais complicada se fosse feita com o uso de líquidos densos, tipo bromofórmio e outros.
- Os ensaios são realizados em bateladas, com a alimentação previamente preparada.

## 6.2.4. Afunda-Flutua (*Sink and Float*) - Laboratório

- A alimentação é introduzida no compartimento maior.
- Neste compartimento, o material flutuado passa por transbordo e por meio de uma calha para o compartimento menor, onde fica retido em uma peneira.

## 6.2.4. Afunda-Flutua (*Sink and Float*) - Laboratório

- O material afundado, mais denso, permanece no fundo do primeiro compartimento, procedendo assim, a separação.