

# Sumário

<b>1</b>	<b>DESAGUAMENTO MECÂNICO</b> .....	7
1.1	Métodos gerais .....	8
	Exercícios resolvidos .....	33
	Referências bibliográficas .....	53
<b>2</b>	<b>ESPESSAMENTO</b> .....	54
	<i>Arthur Pinto Chaves, Antonio Heleno de Oliveira, Ricardo A. C. Cordeiro e Ricardo Chiappa</i>	
2.1	Descrição do equipamento .....	54
2.2	Equipamentos semelhantes .....	65
2.3	Mecanismos do espessamento .....	66
2.4	Tratamento teórico .....	75
2.5	Dimensionamento de espessadores .....	87
2.6	Considerações de projeto .....	112
2.7	Prática operacional .....	118
2.8	Novos espessadores .....	124
	Exercícios resolvidos .....	137
	Referências bibliográficas .....	158
<b>3</b>	<b>FILTRAGEM</b> .....	161
3.1	Definições .....	161
3.2	Descrição dos sistemas .....	163
3.3	Descrição dos equipamentos .....	167
3.4	Mecanismo de filtragem .....	182
3.5	Meios filtrantes .....	183
3.6	Dimensionamento de filtros .....	190
3.7	Projeto de instalações de filtragem .....	199

6	<b>Teoria e Prática do Tratamento de Minérios – Desaguamento, espessamento e filtração</b>	
	Exercícios resolvidos .....	204
	Referências bibliográficas .....	215
4	<b>REAGENTES AUXILIARES .....</b>	<b>216</b>
	<i>Arthur Pinto Chaves e Laurindo de Salles Leal Filho</i>	
	4.1 Floculantes e coagulantes .....	216
	4.2 Produtos químicos utilizados como floculantes .....	221
	4.3 Auxiliares de filtração .....	224
	4.4 Preparação, dosagem e adição de reagentes .....	225
	Referências bibliográficas .....	229
5	<b>ASPECTOS TEÓRICOS DE FILTRAÇÃO E DESAGUAMENTO .....</b>	<b>230</b>
	<i>Laurindo de Salles Leal Filho, Arthur Pinto Chaves e Luís Gustavo Esteves Pereira</i>	
	5.1 Aspectos fluidodinâmicos .....	233
	5.2 Fenômenos de superfície .....	235
	5.3 Ação dos produtos químicos .....	236
	Referências bibliográficas .....	240

# Desaguamento mecânico

# 1

O objetivo das operações de desaguamento é reduzir a umidade de produtos de outras operações unitárias de Tratamento de Minérios, para a sua utilização final (venda) ou para atingir as condições exigidas pelas operações unitárias subseqüentes. É o caso, por exemplo, do adensamento de produtos de moagem em circuito fechado (*overflows* de classificadores espirais) antes do condicionamento ou do adensamento da alimentação de filtros.

Vários equipamentos são utilizados para essa operação: peneiras vibratórias horizontais, peneiras DSM, classificadores espirais, cones desaguadores, ciclones desaguadores, pilhas e silos de drenagem. As centrífugas, embora de uso frequente na indústria química, são praticamente restritas às indústrias do carvão e do caulim. Os equipamentos mais extensamente utilizados são os espessadores e os filtros a vácuo, que merecerão, por isso, uma atenção especial.

Essas operações também são muito utilizadas na indústria química e na metalurgia extrativa, nas quais, em geral, o produto de interesse é a fase líquida, ao contrário da indústria mineral, na qual o interesse está sempre centrado na fase sólida.

É importante distinguir claramente, desde já, desaguamento e secagem. No desaguamento, apenas métodos mecânicos são utilizados, e resta sempre alguma umidade residual no minério ou concentrado, ao passo que, na secagem, utiliza-se o calor, e o objetivo é umidade final zero ou próxima disso. Porém, o desaguamento é sempre muito mais barato que a secagem.

Os métodos de separação sólido-líquido – ou, no nosso caso específico, de desaguamento – podem ser classificados de duas formas:

- 1 pelo movimento relativo das fases: o sólido move-se através do líquido em repouso, o que se denomina decantação, cujo exemplo

# 2

## Espessamento

Arthur Pinto Chaves

Antonio Heleno de Oliveira

Ricardo A. C. Cordeiro

Ricardo Chiappa

### 2.1 Descrição do equipamento

Espessamento é uma operação de separação sólido-líquido de polpas, por sedimentação em grande escala. Essa operação é feita num tanque denominado espessador. O propósito é receber uma polpa diluída (entre 5% e 10% de sólidos) e obter um produto adensado (*underflow*) tão adensado quanto seja possível bombear ou obter (grosseiramente entre 50% e 75% de sólidos).

Existem duas operações unitárias muito parecidas mas distintas: clarificação e espessamento. O objetivo da clarificação é produzir um produto clarificado ao máximo (*overflow*), ao passo que o espessamento objetiva produzir um produto adensado (*underflow*) até o valor compatível com a operação subsequente (bombeamento, filtragem, condicionamento etc.).

Os espessadores são equipamentos como o mostrado na Fig. 2.1: grandes, caros e, geralmente, instalados fora da usina. Eles são constituídos de um tanque cilíndrico-cônico (a altura da porção cilíndrica é pequena quando comparada ao seu diâmetro, e o cone é raso; inclinação do fundo = 12:1), e seus diâmetros variam de alguns metros até dezenas de metros. Sua alimentação é pelo centro: as partículas sólidas sedimentam e são retiradas pelo fundo, no ápice da porção cônica (*underflow*), enquanto o líquido sobrenadante transborda e é recolhido em uma calha que circunda o tanque (*overflow*). A calha pode ser interna ou externa ao tanque.

### 2.8.2 Superespesadores

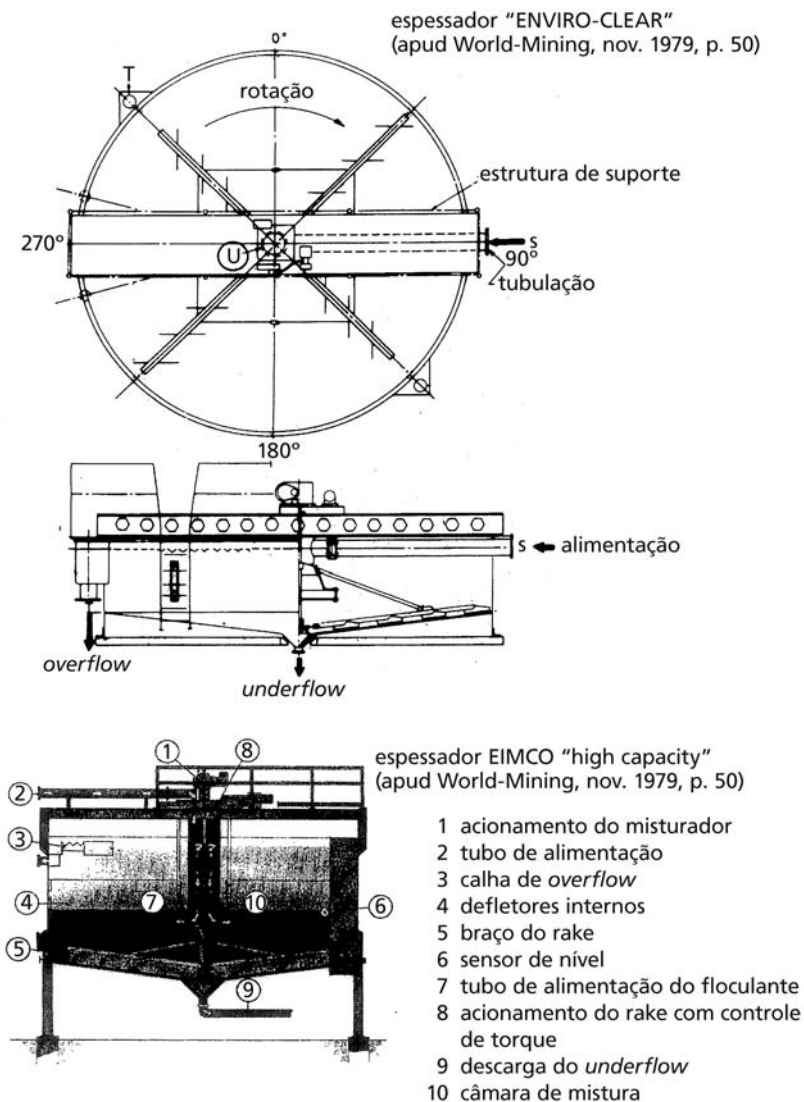
O *superespesador* tem como premissa básica o uso de floculantes para o seu desempenho. Isso forçou algumas mudanças de projeto e o equipamento resultante difere muito do espessador convencional, especialmente na sua altura aumentada e na sua área reduzida. Entretanto, a mudança fundamental introduzida por esse conceito de equipamento é *trocar um investimento*, que é a diminuição do porte do equipamento, *por um custo operacional*, que é o consumo de reagentes.

Os superespesadores são máquinas de desenvolvimento recente, como as mostradas na Fig. 2.46. Eles têm uma área cerca de 20 vezes menor que o espessador convencional de mesma capacidade. O princípio da máquina está em flocular a alimentação e alimentar a polpa já floculada a meia altura do espessador (não mais próximo à superfície, como no espessador convencional). Os flocos vão crescendo pela incorporação de partículas sólidas e de outros flocos que encontram em sua trajetória. Ao atingirem um tamanho crítico, começam a sedimentar e são removidos pelo movimento do *rake*.

O mecanismo de espessamento, então, é a sedimentação por fase, obtida mediante o uso de floculantes. O princípio de funcionamento dos superespesadores é, portanto, diferente do verificado nos espessadores convencionais. O fato de a alimentação ser feita a meia altura implica que o volume destinado à clarificação do sobrenadante é maior que no classificador convencional e a clarificação do *overflow* é melhor.

Outra diferença básica é que os superespesadores são projetados para trabalhar sempre com a adição de polímeros, isto é, em troca da economia no investimento inicial (redução de área), deve-se conviver com o aumento do custo operacional (adição dos floculantes).

Como os diâmetros são pequenos, a construção é sempre do tipo ponte e, portanto, mais barata, podendo inclusive ser elevado em relação ao terreno. A potência instalada, porém, é a mesma do espessador convencional.



**Fig. 2.46** Superespesadores

Fonte: *World Mining*, edição nov. 1979, p. 50.

Keane (1979) já comentava que parece óbvio que a gravidade responde apenas por parte da separação sólido-líquido nesse tipo de equipamento, e prefere referir-se ao mecanismo como de filtragem, em

## 3.1 Definições

Podemos definir a filtragem como a operação unitária de separação dos sólidos contidos numa suspensão em um líquido, mediante a passagem do líquido através de um meio poroso, que retém as partículas sólidas.

O líquido que atravessa o meio poroso é denominado de filtrado e os sólidos retidos, de torta. A filtragem pode ser feita por meio da simples pressão hidrostática do líquido sobre o meio filtrante; diz-se que a operação foi feita por gravidade. Quando alguma ação externa é aplicada, costuma-se distinguir:

- ◆ *filtragem a vácuo*: caso geral da indústria do Tratamento de Minérios, em que é criada uma pressão negativa (subatmosférica) debaixo do meio filtrante;
- ◆ *filtragem sob pressão*: utilizada no desaguamento de argilas e de cimentos de cobre e ouro, em que uma pressão positiva é aplicada do lado da torta;
- ◆ *filtragem centrífuga*: em que se utiliza a força centrífuga para forçar a passagem do líquido. Essa operação não é feita em filtros, mas em centrífugas, nas quais o cesto dispõe de uma tela que retém os sólidos e deixa passar o líquido;
- ◆ *filtragem hiperbárica*: em que se combinam vácuo e pressão;
- ◆ *filtragem capilar*: em que se aproveita a ação de capilares de meios cerâmicos porosos para efetuar o desaguamento.

A filtragem pode ser feita por bateladas (descontinuamente), como acontece nas indústrias química e alimentícia, mas isso é raro na indústria mineral, onde é sempre contínua.

Na presente obra, trataremos apenas dos filtros contínuos – exceção feita aos filtros-prensa.

Do ponto de vista do equipamento, um filtro contínuo pode ser entendido como um conjunto de mecanismos que realiza as seguintes tarefas:

- ◆ *suporta* o meio poroso e a torta;
- ◆ *transporta* a torta do ponto de alimentação ao ponto de descarga;
- ◆ *permite a passagem do filtrado* e o remete ao ponto de destino;
- ◆ *mantém a pressão diferencial* entre os dois lados do meio filtrante.

Nas indústrias química e metalúrgica, é muito comum a função adicional de lavar a torta sobre o filtro, o que, se acontece na indústria mineral, é muito raramente. Isso porque, naquelas indústrias, o produto desejado é a solução contendo os metais ou produtos químicos, e qualquer resto deixado na torta é uma perda de processo. Já na indústria mineral, o que se deseja são os sólidos contidos na torta, e o filtrado é apenas água suja.

Na maior parte dos filtros, todas essas tarefas são executadas por meio da rotação do sistema que suporta a torta em torno de um eixo ou mediante seu movimento de translação. Ao longo desse movimento, os setores sucessivos do meio filtrante vão sendo submetidos às diferentes ações mecânicas. Na prática, isso é feito mediante a operação de válvulas que comunicam com tubulações de vácuo ou de ar comprimido. A disposição e montagem desses dispositivos é um problema de construção mecânica, mas todos eles operam de acordo com os mesmos princípios.

A Fig. 3.1 mostra o dispositivo mecânico (formação da torta, desaguamento e descarga de um filtro rotativo – no caso, filtro de tambor) e a Fig. 3.2 mostra como esses eventos se sucedem em filtros de tambor e de disco (ciclo de filtragem).



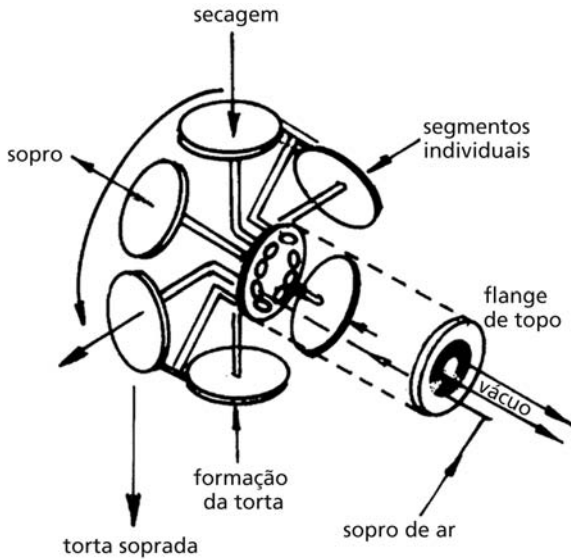


Fig. 3.1 Disposição e montagem do filtro

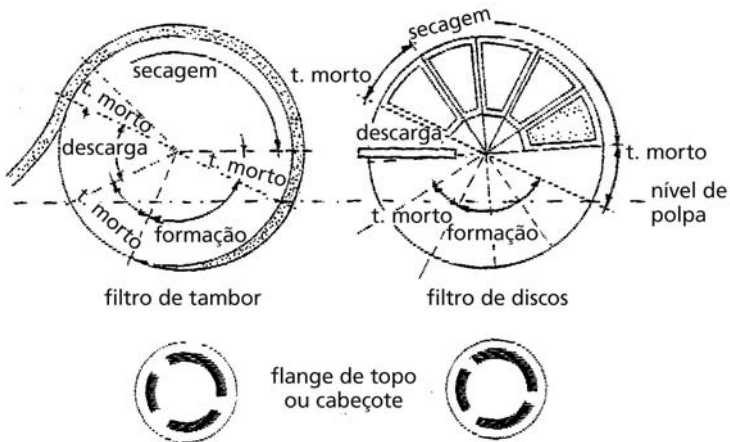


Fig. 3.2 Ciclos de filtragem

### 3.2 Descrição dos sistemas

Em Tratamento de Minérios, como já mencionado, utilizam-se geralmente filtros a vácuo para o desaguamento final de concentra-

# 4

## Reagentes auxiliares

Arthur Pinto Chaves

Laurindo de Salles Leal Filho

### 4.1 Floculantes e coagulantes

Os sólidos particulados apresentam certas propriedades específicas que se tornam mais nítidas à medida que sua finura aumenta. Eles têm, por exemplo, uma área específica (*surface area*) enorme e que aumenta conforme diminui o tamanho das partículas. Em consequência, as quantidades de cargas elétricas superficiais também são muito grandes. O peso das partículas individuais, por sua vez, é muito pequeno, ao ponto de elas serem afetadas pelo movimento browniano. Se as partículas são do mesmo mineral, as cargas superficiais, via de regra, são de mesmo sinal e irão repelir-se mutuamente. No exercício 1.28 do primeiro volume desta série, comparamos duas partículas cúbicas, uma com 150  $\mu\text{m}$  de lado e outra com 15  $\mu\text{m}$  de lado. A massa da segunda partícula era mil vezes menor que a da primeira, e a sua área específica, dez vezes maior! Isso significa que cada partícula de 150  $\mu\text{m}$  terá peso mil vezes maior que a de 15  $\mu\text{m}$ , e que duas partículas de 15  $\mu\text{m}$  irão repelir-se com força dez vezes maior que duas partículas de 150  $\mu\text{m}$ .

O fenômeno inverso acontece quando as partículas entram em contato entre si e conseguem permanecer juntas. A massa do glomérulo é maior e a sua superfície, menor. A partir de um certo tamanho crítico, a aglomeração torna-se mais fácil e mais rápida, e criam-se condições para o glomérulo deixar de estar sujeito ao movimento browniano e passar a sedimentar. A dificuldade toda está em promover esse contato. A agitação do meio – em princípio, suficiente para fazer as partículas colidirem ou, pelo menos, chegarem tão próximas umas das outras que

# 5

## Aspectos teóricos de filtragem e desaguamento

Laurindo de Salles Leal Filho

Arthur Pinto Chaves

Luís Gustavo Esteves Pereira

Como já mencionamos anteriormente, os fenômenos envolvidos no desaguamento e na filtragem são complexos demais para poderem ser satisfatoriamente quantificados por qualquer tratamento teórico. Em razão disso, faremos uma revisão sucinta e não exaustiva dos aspectos principais envolvidos. O objetivo é apenas prover o ferramental de raciocínio necessário para uma melhor compreensão do processo.



**Fig. 5.1** Modelo de um leito de partículas

Stroh e Stahl (1991) descreveram uma torta de filtragem ou um leito de partículas em uma pilha, ou, ainda, o leito de partículas numa cesta de centrífuga, como um conjunto de partículas mais outro conjunto de canais capilares entre elas (Fig. 5.1). Tanto as partículas como os canais têm diâmetros variados.

Quando um líquido percola esse leito, seu movimento é afetado por diferentes parâmetros, notadamente pela porosidade do leito – que depende do tamanho e da distribuição granulométrica das partículas – da viscosidade do líquido e dos efeitos capilares.

Em princípio, o desaguamento de um minério granulado por ação da gravidade pode ser auxiliado por diferentes tipos de produtos químicos:

- ♦ tensoativos reduzem a tensão superficial ou a viscosidade da água contida entre as partículas, permitindo o seu escoamento mais fácil;

- ◆ hidrofobantes tornam a superfície dos grãos de minério repelentes à água, permitindo que a superfície fique mais seca;
- ◆ floculantes e coagulantes agregam às partículas maiores os finos e ultrafinos, liberando os vazios intersticiais entre as partículas e impedindo a colmatção dos canais por onde a água pode escoar;
- ◆ dispersantes dispersam os mesmos finos e ultrafinos na água, causando efeito semelhante ao dos produtos do grupo anterior.

A experiência tem demonstrado que a ação dos diferentes reagentes é específica para cada minério, podendo mesmo variar com material de diferentes pontos da jazida. Demonstra também que a mistura criteriosa de diferentes produtos pode ter um efeito muito mais significativo que o de reagentes individuais, e, ainda, que os fenômenos envolvidos no desaguamento e na filtragem são complexos demais para poderem ser satisfatoriamente quantificados por algum tratamento teórico. É, portanto, necessário testar esses produtos e suas misturas primeiramente em laboratório e, depois, em ensaios industriais controlados.

O comportamento é diferente conforme o leito esteja saturado de água ou não. A Fig. 5.2 mostra o comportamento de um leito de partículas que é desaguado a partir de uma situação de total saturação, mediante a aplicação de uma pressão sobre o leito.

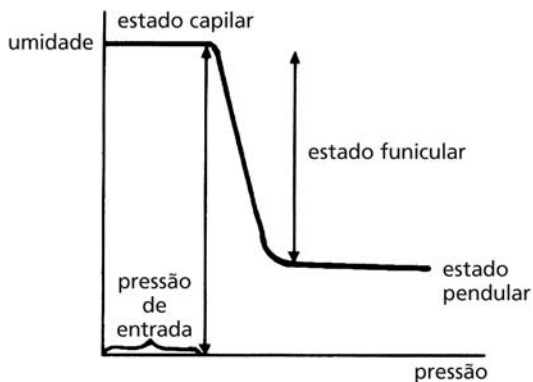


Fig. 5.2 Representação dos três estados da umidade segundo Nicol (1976)