

NOVAS TECNOLOGIAS EM ESPESSAMENTO

Dimensionamento de um Espessador *High Density* para Lama de Minério de Ferro¹

Klaydison Carlaile Silva²
Armando Fernandes da Veiga Rodrigues²
Grazielle Timoteo²
Ciro Massayuki²

Resumo

O espessamento é uma operação de separação sólido-líquido utilizada para: recuperação de água de polpas contendo rejeitos ou concentrados. Neste trabalho abordamos os princípios básicos que regem o funcionamento de um espessador tipo High Density, dimensionando-o para espessar três lamas distintas de minério de ferro e comparando com os resultados obtidos para um espessador convencional. Para as amostras testadas, a área requerida pelo espessador *High Density* é três vezes menor que a área requerida para um espessador convencional na mesma função (1.886 m² para o *High Density* x 5675 m² para o espessador convencional). O espessador *High Density* ainda apresentou um percentual de sólidos no UF de 40 % contra cerca de 20% apresentado pelo espessador convencional.

Palavras-chave: Espessamento, *High density*.

NEW THICKENING TECHNOLOGIES

Sizing A High Density To Thicken Slime From Iron Ore

Abstract

Thickening is an operation of solid-liquid separation used for water recovery from slurry with waste or concentrated. In this work we show the basic principles that control the High Density thickener, sizing to thicken three different samples of slimes from iron ore and compared with the results obtained from Conventional thickener. To these samples tested, the area required to the High Density Thickener is three times smaller than the area required to the Conventional Thickener in the same function (1886 m² to the High Density VS 5675 m² to the Conventional Thickener). The High Density Thickener presented a slurry solid concentration in the Underflow of 40% VS 20% to the Conventional Thickener.

Key words: Thickening; High density.

¹ Contribuição técnica ao 39º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 10º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 22 a 26 de novembro de 2009, Ouro Preto, MG.

² Engenheiro de Processo, Vale

1 INTRODUÇÃO

1.1 Revisão da Literatura

O espessamento é uma operação de separação sólido-líquido utilizada para: recuperação de água de polpas contendo rejeitos ou concentrados, preparação de rejeitos para descarte, preparação de polpas com densidades mais adequadas para operações subseqüentes (filtragem, moagem, flotação, lixiviação, preenchimento de cavidades), separação das espécies dissolvidas dos resíduos lixiviados.

Os equipamentos utilizados industrialmente são construídos em aço ou em concreto armado e podem ser classificados em: espessadores convencionais, espessadores de alta capacidade, espessadores tipo *High Density* e espessadores tipo pasta.

Os espessadores tipo *High Density* apresentam duas grandes vantagens em relação aos espessadores convencionais:

- maior porcentagem de sólidos no *Underflow*, permitindo uma maior recuperação de água reduzindo os custos de bombeamento da barragem até a usina; e
- menor diâmetro, quando comparado com os espessadores convencionais, necessitando de uma área menor para a sua construção e reduzindo também custos com obra civil.

1.1.1 Comparativo entre os espessadores *High Rate* e *High Density*

Segue abaixo uma visão geral das principais diferenças entre estes dois tipos de espessadores:

- os espessadores *High Rate* são dimensionados pela área unitária, enquanto que os espessadores *High Density* são dimensionados pelo *Overflow rate*;
- altura do espessador: espessadores tipo *High Density* usam gravidade e compressão para compactar os sólidos suspensos. O tempo de residência requerido para aumentar a porcentagem de sólidos é atingido aumentando-se a altura do espessador;
- ângulo da parte cônica: por causa da alta porcentagem de sólidos, um ângulo maior da parte cônica é requerido para forçar um melhor escoamento da polpa em direção à descarga do espessador;
- unidade acionadora: embora os espessadores tipo *High Density* são sempre menores que os tipo *High Rate*, o torque é maior para uma mesma vazão;
- mecanismo do rake: os espessadores *High Density* possuem *Pickets* fixados nos braços do *rake* para alterar a permeabilidade do sólido compactado. *Pickets* criam caminhos para o líquido “escapar” no sólido compactado;
- descarga do espessador: *High Density* são projetados com descarga cilíndrica com volume maior em relação a uma descarga cônica com o objetivo de facilitar o escoamento e minimizar ou prevenir a diluição do *Underflow*.

1.1.2 Princípio básico para determinação do diâmetro mínimo de um espessador tipo *high density*

Os dois principais fatores que determinam o dimensionamento de um espessador tipo *High Density* são: o diâmetro mínimo e o tempo de residência.

O princípio básico para a determinação do diâmetro mínimo de um espessador do tipo *High Density* é garantir que a velocidade de sedimentação dos

sólidos (VD) seja maior que a velocidade ascendente (VA), conforme figura esquemática abaixo:

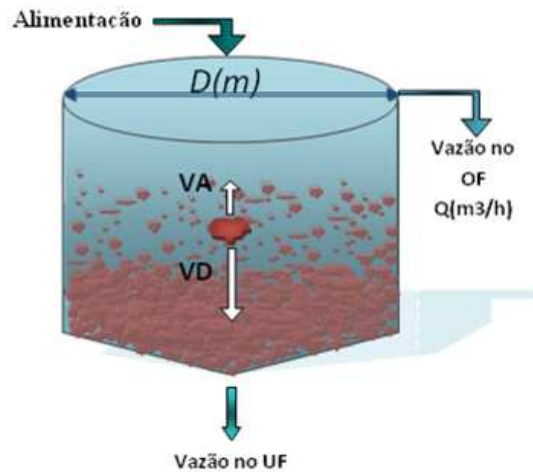


Figura 1: Esquema simplificado de um espessador *High Density*.

O valor da velocidade de sedimentação (VD) é definido através de testes convencionais de sedimentação em proveta.

O valor da velocidade ascendente VA pode ser calculado através da fórmula:

$$VA(m/h) = \frac{Q(m^3/h)}{S(m^2) - Sf(m^2)} \quad (1)$$

Onde:

Q é a vazão no OF;

S é a área da seção de transbordo do equipamento;

Sf é a área do Feedwell;

A área da seção do transbordo do equipamento (S) é:

$$S(m^2) = \frac{\pi D^2(m)}{4} \quad (2)$$

Onde:

D é o diâmetro do equipamento;

O valor de VA em relação a VD é definido segundo o objetivo do equipamento a ser dimensionado:

- para um Clarificador, o valor de VA deve ser aproximadamente 50% do valor de VD; e
- para um Espessador, o valor de VA deve ser aproximadamente 70% do valor de VD.

Desta forma, o diâmetro mínimo para um espessador do tipo High Density é dado pela resolução da equação:

$$D(m) = \sqrt{4x \left(\frac{Q}{nVD\pi} + \frac{Sf}{\pi} \right)} \quad (3)$$

Onde:

D é o diâmetro do equipamento;

Q é a vazão para o OF;

VD é a velocidade de sedimentação do sólido;

n é o fator de dimensionamento (aproximadamente 0,7 para Espessador e 0,5 para Clarificador);

S_f é a área do Feedwell;

Há porém, outros aspectos que determinam as dimensões do equipamento, sendo que a altura é calculada para se atingir um tempo de residência ideal de forma a garantir o adensamento no *Underflow* bem como um nível de interface coerente com o espessador do tipo *High Density*.

O adensamento máximo que o *Underflow* pode atingir é determinado em testes de bancada: Teste de Reologia da Polpa e *Combined Test*.

1.1.3 Tempo de residência – *High Density*

O tempo de residência requerido para concentrar a polpa até uma determinada porcentagem de sólidos pode ser determinado por testes de bancada, construindo-se uma curva similar à mostrada na Figura 2. Esta curva pode ser determinada pelo *Combined Test*, que se caracteriza por testes em provetas com uma quantidade de sólidos maior, quando comparado com o teste para dimensionamento de espessador convencional (Figura 3), porém a forma mais segura de se determinar o tempo de residência ideal para o espessador *High Density* é através de testes piloto.

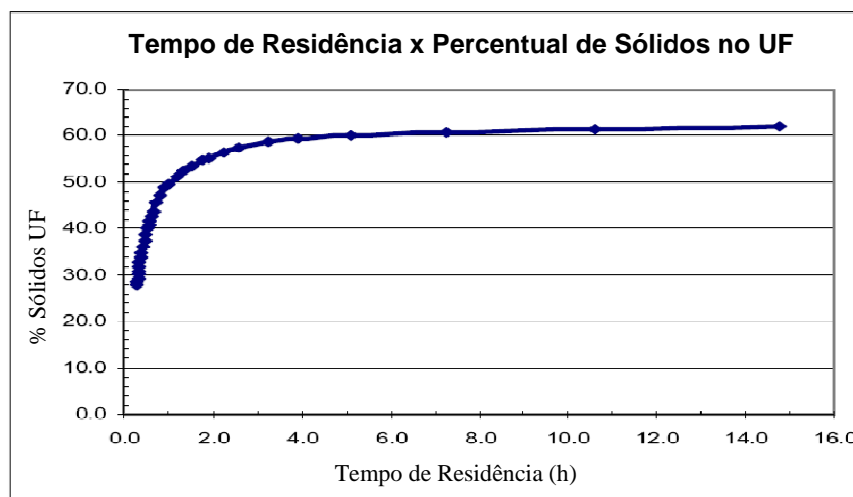


Figura 2: Tempo de residência VS concentração de sólidos.

O *Combined Test* tem como principais objetivos determinar o tempo de residência em função da porcentagem de sólidos e a porcentagem de sólidos máxima após 24 horas de sedimentação.

Por ser necessária uma maior quantidade de sólidos no interior da proveta, o teste se inicia em um balde com volume de 15 litros e, após a decantação dos sólidos até atingir o nível ligeiramente abaixo de 4 litros, o sobrenadante é retirado e o material é transferido para uma proveta de 4 litros e o seu volume é completado (com o sobrenadante retirado). Após a decantação nesta proveta até o nível ligeiramente abaixo de 2 litros, o mesmo procedimento é refeito, agora se transferindo o material para uma proveta de 2 litros, na qual a polpa ficará durante 24 horas.



Figura 3: *Combined test.*

1.1.4 Reologia de polpa

Para o teste da reologia de polpa pode ser usado um viscosímetro para a medição do *Yield Stress*, que é a força requerida para produzir movimento em uma polpa estacionada, em diferentes porcentagens de sólidos no *Underflow*. O *Yield Stress* é uma função de propriedades físicas da suspensão de sólidos (incluindo composição química, granulometria e porcentagem de sólidos), tipo e dosagem de floculante e temperatura.

O *Yield Stress* é usado para definir os seguintes parâmetros:

- limite da porcentagem de sólidos do *Underflow*;
- torque requerido para rotacionar o rake durante uma operação normal e não normal. O rake deve ser apto para re-iniciar uma operação após uma parada.

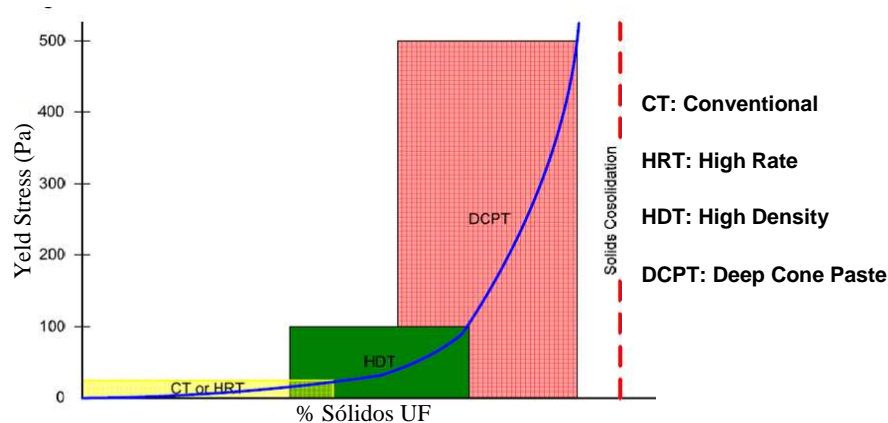


Figura 4: Relação genérica de *Yield Stress* VS porcentagem de sólidos no *Underflow*.

1.2 Objetivos

Neste trabalho buscamos dimensionar um espessador convencional, pelo método de kynch, e outro tipo, *High Density* para três lamelas distintas (*Overflow* da etapa de deslamagem) de minério de ferro, com o objetivo de elaborar um estudo comparativo entre os diâmetros destes equipamentos, bem como, comparar as porcentagens de sólidos atingidas em cada tipo de espessador.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os estudos se basearam na análise de três amostras de lama, sendo que, para cada uma destas amostras, efetuou-se o dimensionamento de um espessador convencional (baseado no conceito de área unitária) e de um espessador tipo *High Density* (baseado no conceito de *Overflow rate*) para uma massa de sólidos de 361t/h com 2,5% de sólidos, pH de 7,5 e dosagem de floculante de 45g/ton.

2.1 Composição Química e Granulométrica das Amostras

A Tabela 1 e a Tabela 2 apresentam respectivamente as composições químicas e a distribuição granulométrica de cada amostra estudada:

Tabela 1: Composição química das amostras estudadas

ID	% Fe	% SiO ₂	% P	% Al ₂ O ₃	% Mn	% TiO ₂	% CaO	% MgO	% PPC
Amostra 1	56.99	1.36	0.103	7.56	0.207	1.99	0.03	0.15	7.14
Amostra 2	54.62	6.27	0.098	7.27	0.321	0.32	0.03	0.18	7.90
Amostra 3	55.88	1.05	0.096	8.37	1.914	0.32	0.08	0.14	8.12

Em relação à composição química, pode-se notar pela Tabela 1 que todas as amostras possuem teores próximos de Fe bem como Al₂O₃ e PPC elevados, porém as amostras se diferenciam principalmente em relação ao TiO₂, SiO₂ e Mn conforme descrito a seguir:

- a Amostra 1 apresenta mais alto teor de TiO₂ (1,99%);
- a Amostra 2 apresenta mais alto teor de SiO₂ (6,27%); e
- a Amostra 3 apresenta alto teor de Mn (1,914%).

Tabela 2: Distribuição granulométrica das amostras estudadas

Tamanho (micra)	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
210.00	100.00	100.00	100.00
150.00	100.00	100.00	100.00
106.00	100.00	100.00	100.00
75.00	100.00	100.00	100.00
45.00	100.00	100.00	100.00
37.00	100.00	100.00	100.00
25.00	100.00	98.47	99.85
15.00	99.40	83.86	93.10
10.00	91.90	65.98	81.85
6.00	76.91	47.27	72.76
5.00	72.78	41.98	69.54
4.00	68.18	36.31	65.28
3.20	63.28	31.32	60.67
2.60	58.42	27.26	56.25
2.00	52.70	22.93	51.09
1.40	47.89	18.77	46.44
1.00	46.33	16.62	44.70
0.70	41.76	13.67	40.15
0.30	20.29	5.71	19.38

A Figura 5 mostra que a Amostra 2 apresenta a granulometria bem mais grossa que as demais, com 65,98% abaixo de 10 micra, enquanto que a granulometria da Amostra 1 e da Amostra 3 são bastante parecidas, mostrando diferença significativa apenas na fração acima de 10 micra.

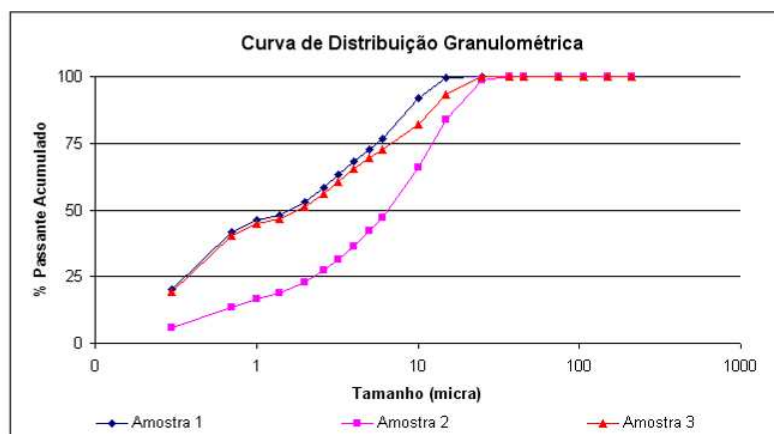


Figura 5: Curvas de distribuição granulométrica das amostras.

2.2 Mineralogia das Amostras

A composição mineralógica das três amostras de lamelas é apresentada na Tabela 3 e foi obtida através de análises ao Microscópio Eletrônico de Varredura.

Tabela 3: Composição mineralógica das amostras estudadas

Mineral/Fase	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Goethita	14	68	19
Limonita	63	--	47
Hematita + Magnetita	23	21	29
Caulinita	--	9	--
Gibbsita	--	2	5

Os resultados apresentados da Tabela 3 devem ser tomados como indicativos, uma vez que as principais fases encontradas correspondem a hidróxidos de ferro, parte dos quais de natureza amorfa e que apresentam certa variação composicional.

Outro aspecto que influenciou negativamente a realização das análises foi a tendência à aglomeração do material, causada possivelmente durante a etapa de preparação das amostras.

Os minerais mais abundantes nas três amostras consistem de goethita, limonita e hematita + magnetita, que justificam o teor de FeT superior a 54%. Grande parte dos contaminantes detectados nas amostras, tais como SiO_2 , P e Mn e Al_2O_3 também podem ser creditados à presença destes hidróxidos de ferro.

A Amostra 1 é composta totalmente por óxidos/ hidróxidos de ferro, com destaque para “limonita”, que responde por cerca de 65% da massa total. Esta fase é a principal responsável pelos teores de SiO_2 e Al_2O_3 e pela porcentagem de PF determinada pela análise química para esta amostra. Também fazem parte da composição da Amostra 1 a hematita + magnetita (~23%) e a goethita propriamente dita (14%). Embora o TiO_2 tenha sido detectado como elemento menor na goethita e na limonita, a sua concentração não é tão elevada a ponto de justificar o teor de quase 2% determinado para a amostra global. Os minerais/ fases da amostra Amostra 1 aparecem em aglomerados policristalinos, nos quais a limonita ocorre como uma matriz muito fina e porosa que agrega cristais de hematita e partículas de goethita. Conforme mencionado anteriormente, é provável que estas estruturas tenham sido originadas na etapa de preparação das amostras para as análises;

A Amostra 2 é aquela que apresenta as características mais distintas, em função da abundância de caulinita, que representa quase 10% da massa total. A composição mineralógica desta amostra inclui ainda 70% de goethita, cerca de 20% de hematita + magnetita, e 2% de gipsita. A caulinita ocorre como finas palhetas disseminadas e é responsável pela maior parte do teor de SiO_2 , de mais de 6%, e por parte da Al_2O_3 determinados para esta amostra. Diferentemente das outras três amostras, os aglomerados policristalinos são bem menos abundantes neste caso;

A composição mineralógica da Amostra 3 é próxima a da Amostra 1, exceto pela presença de 5% de gipsita. Os demais minerais e fases correspondem à limonita (~45%), hematita + magnetita (~30%) e goethita (~20%). Destaca-se na amostra Amostra 3 o teor de Mn de quase 2% na amostra global. Este elemento foi detectado na composição química dos hidróxidos de ferro, entretanto, o teor calculado a partir da mineralogia é inferior ao analisado. É provável que uma parte do Mn ocorra como fases ainda mais finas e que não foram observadas ao MEV. Esta suposição baseia-se na coloração escura da seção polida, que pode indicar que a fase portadora de Mn talvez tenha sido “dissolvida” na resina.

2.3 Testes em Laboratório

Os testes para a escolha do floculante estabeleceu a dosagem 45 g/t de Flonex 9026 para as três amostras. O pH de todas as amostras foi ajustado para 7,5.

O percentual de sólidos adotado para cada um dos testes foi de aproximadamente 2,5%.

A Figura 6 mostra as curvas referentes aos testes de sedimentação para cada amostra.

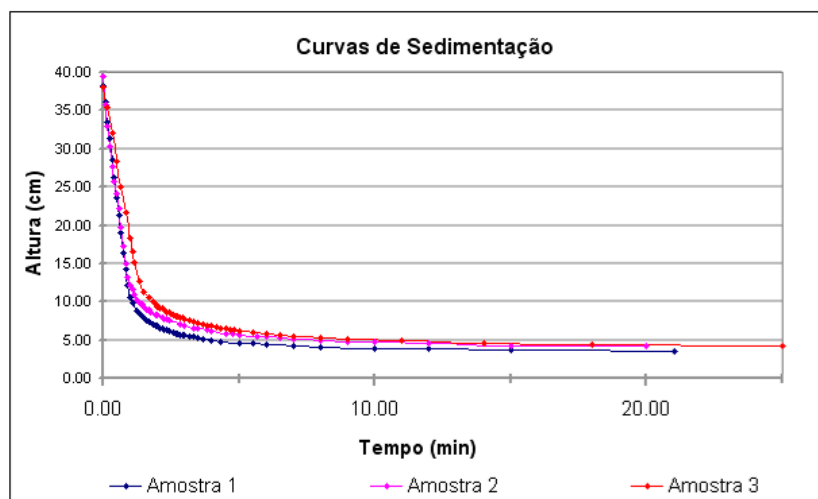


Figura 6: Curvas de sedimentação das três amostras.



Figura 7: Amostra 1.



Figura 8: Amostra 2.



Figura 9: Amostra 3.

Os testes de reologia de polpa e *Combined Test* efetuados pela FLSmidth forneceram dados para o dimensionamento do espessador tipo *High Density*.

A Figura 10 apresenta graficamente os resultados dos testes de Reologia, de que auxilia na determinação do percentual de sólidos no UF do espessador tipo *High Density* para cada Amostra estudada.

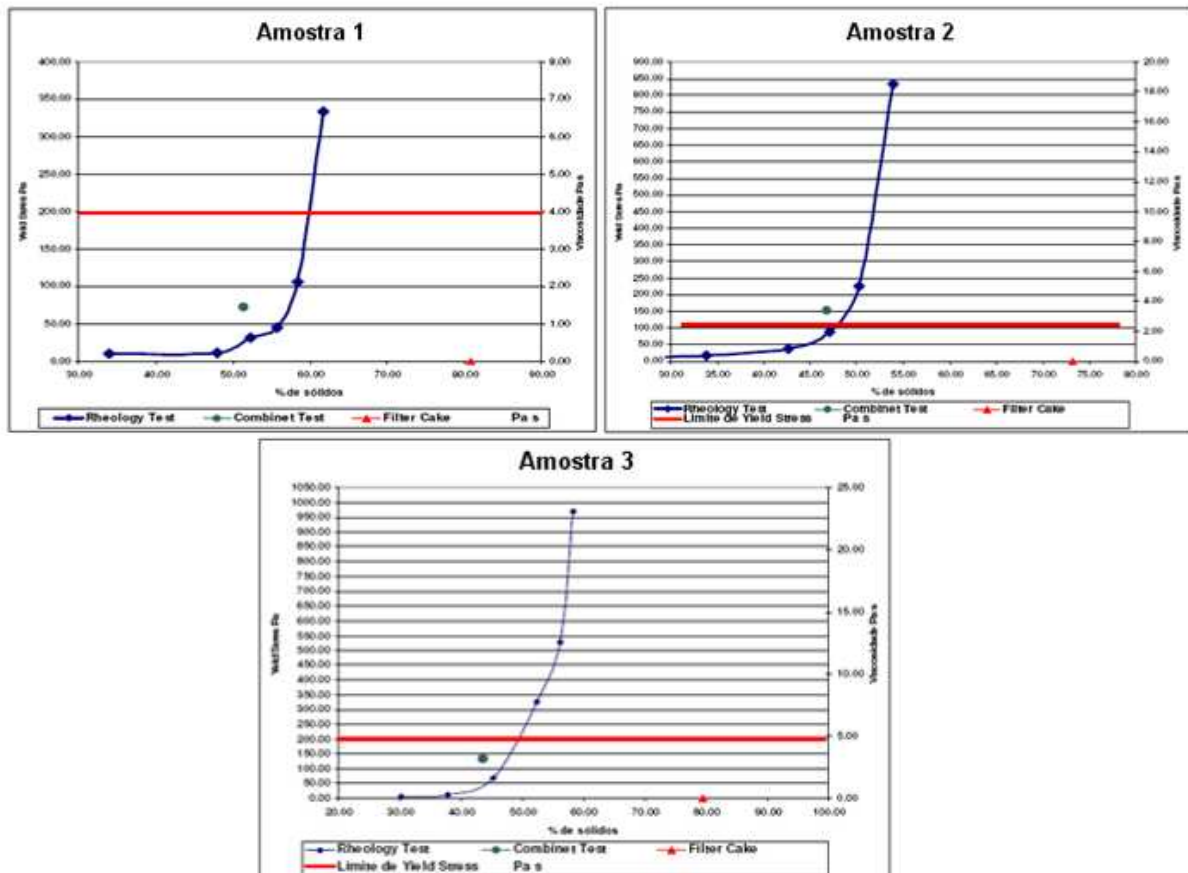


Figura 10. Análise reológica para as amostras 1, 2 e 3.

3 RESULTADOS

A Tabela 4 apresenta a área unitária necessária, de um espessador convencional, dimensionado pelo método de Kynch, bem como a velocidade de sedimentação o percentual de sólidos para o UF de um espessador tipo Convencional e High Density para cada uma das amostras estudadas.

Tabela 4: Resultados dos testes

Resultado dos Testes								
Teste n°	Densidade do Sólido (t/m ³)	Floculante (g/t)	Convencional Sólidos (%)		Área unitária (m ² /t/dia)	Hi-density Sólidos (%)		Velocidade sedimenta ção (m/h)
			inicial	final		inicial	final	
Amostra 1	4.45	45	2.60	23.67	0.411	2.60	40.00	16.62
Amostra 2	4.33	45	2.51	22.06	0.519	2.51	40.00	16.41
Amostra 3	4.39	45	2.49	21.22	0.644	2.49	40.00	11.46

A partir destes dados, pôde-se dimensionar um espessador convencional e um espessador tipo *High Density*.

Tabela 5: Dimensionamento do *High Density*

Teste n°	Velocidade sedimentação (m/h)	Taxa de Alimentação (t/h)	Vazões			Dimensionamento do High density			
			Alimentação (m ³ /h)	UF (m ³ /h)	OF (m ³ /h)	Diâmetro Mínimo (m)	Diâmetro Escolhido (m)	Altura Total (m)	Tempo de Residência (h)
Amostra 1	16.62	360.00	13567.05	623.18	12943.87	40.33	49.00	18.50	24.00
Amostra 2	16.41	360.00	14065.77	623.14	13442.63	41.23	49.00	18.50	24.00
Amostra 3	11.46	360.00	14179.84	622.00	13557.83	48.60	49.00	18.50	24.00

Algumas premissas foram adotadas no dimensionamento do espessador High Density:

- tempo de residência máximo de 24 horas (geralmente considera-se um tempo de 24 horas como conservador nesta aplicação);
- diâmetro do Feedwell de 14,5 metros com o objetivo de manter a velocidade da polpa na alimentação do espessador entre 1,3 m/min e 1,5 m/min; e
- ângulo da parte cônica: 15°.

Tabela 6: Dimensionamento do *High Density*

Teste n°	Área unitária (m ² /t/dia)	Taxa de Alimentação (t/h)	Dimensionamento do Espessador Convencional	
			Diâmetro Mínimo (m)	Diâmetro Escolhido (m)
Amostra 1	0.41	360.00	67.24	85.00
Amostra 2	0.52	360.00	75.57	85.00
Amostra 3	0.64	360.00	84.17	85.00

4 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Para as amostras testadas, a área requerida pelo espessador *High Density* é três vezes menor que a área requerida para um espessador convencional na mesma função (1886 m² para o *High Density* x 5675 m² para o espessador convencional). O

espessador *High Density* ainda apresentou um percentual de sólidos no UF de 40 % contra cerca de 20% apresentado pelo espessador convencional.

Não se conseguiu definir com certeza o motivo pelo qual a Amostra 3 apresentou maior dificuldade para espessamento (fato que refletiu nos diâmetros dos espessadores convencionais e *High Density*).

Nota-se que a constituição mineralógica da Amostra 3 é similar à constituição da Amostra 2, não apresentando diferenças significativas. Granulometricamente, a Amostra 3 é um pouco mais grossa que a Amostra 2 (fato que deveria refletir em maior facilidade de espessamento).

Um indicativo para a pior taxa unitária de espessamento e menor velocidade de sedimentação pode estar no elevado teor de manganês existente na Amostra 3, porém não se pode afirmar com certeza que esta seja a causa dos resultados apresentados.

A utilização do espessador tipo *High Density* se mostra mais vantajosa em relação ao espessador convencional, uma vez que maximiza a recuperação de água no OF, reduzindo custos com bombeamento da barragem, captação de água nova e área necessária para a deposição de rejeitos.

Quanto ao Capex, é necessária uma análise econômica mais refinada, porém o custo relacionado à necessidade de uma unidade de acionamento bem mais robusta que a de um espessador convencional devido aos torques mais elevados à que o High Density está sujeito, pode ser compensado pelo menor volume de concreto necessário para a sua construção.

De toda forma, para uma maior confiabilidade no dimensionamento do espessador *High Density*, é necessária a execução de testes com equipamento piloto para a definição do tempo de residência ideal, uma vez que os testes de laboratório definem com segurança o diâmetro mínimo, mas a altura determinada é apenas um indicativo que deve ser confirmado. Na prática se usam fatores de segurança para determinação do tempo de residência quando não são efetuados os testes piloto.

Agradecimentos

À Linda Fujikawa pelas análises e interpretações mineralógicas, ao Centro de Pesquisa Tecnológico da Vale pelos testes de espessamento, à FLSmith pelos testes realizados no CDM/Vale e à Westech pelos esclarecimentos.

BIBLIOGRAFIA

- 1 Valadão, George Edurado Sales; Araújo, Armando Correa, organizadores. Introdução ao Tratamento de Minérios, Belo Horizonte, Editora UFMG, 2007
- 2 Mulligan, M C; Bradford, L. Soluble Metal Recovery Improvement Using High Density Thickeners In A Ccd Circuit: Ruashi li A Case Study, The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Base Metals Conference 2009