

UTILIZAÇÃO DE ENSAIOS DE ESPESSAMENTO CONTÍNUO EM ESCALA PILOTO PARA ANÁLISE DE PERFORMANCE DE FLOCULANTES *

Thiago Santos Guedes¹

Kleber Menezes Reis²

Lucas Fonseca Rodrigues Oliveira³

Felipe Paiva Alves de Souza Mendonça⁴

Resumo

Floculantes são polímeros utilizados no processo de espessamento para aumentar a eficiência de separação sólido-líquido, acelerando a sedimentação das partículas e permitindo a recuperação e reuso da água. Nesse artigo é apresentada uma metodologia alternativa para a análise de performance de floculantes com a utilização de um espessador contínuo em escala piloto. Esse equipamento simula de maneira mais realista a operação industrial quando comparado a ensaios de bancada, e assim, descarta a necessidade de um teste industrial para comprovação da performance do floculante. Para os ensaios contínuos, foram considerados como parâmetros de controle a turbidez do “overflow”, a altura da camada de compactação e o tempo de espessamento necessário para atingir uma concentração de sólidos de 25% em peso no “underflow”.

Palavras-chave: Polímero floculante; Espessamento; Escala piloto.

THE USE OF CONTINUOUS PILOT SCALE THICKENING TESTS FOR PERFORMANCE ANALYSIS OF FLOCCULATING POLYMERS

Abstract

Polymer flocculants are used in the thickening process to increase the efficiency of solid-liquid separation by accelerating the sedimentation of the particles and allowing the recovery and reuse of the water. This paper presents an alternative methodology for the performance analysis of flocculants using a continuous pilot scale thickener. This equipment simulates more realistically the industrial operation when compared to bench tests, and it rules out the need of an industrial test to prove the flocculant performance. For the continuous tests, the overflow turbidity, the height of the compaction layer and the thickening time required to achieve a solids concentration of 25% by weight in the underflow were considered as control parameters.

Keywords: Polymer flocculants; Thickening; Pilot scale.

¹ Graduado em Engenharia Química (UFMG), Especialização em Processamento Mineral (UFMG), Coordenador de Controle de Processos e Laboratórios, Gerdau Aços Brasil, Ouro Preto, MG, Brasil.

² Graduado em Engenharia de Produção (Pitágoras), pós-graduado em Engenharia de Minas (UFOP), técnico em Química (CEFET), Mecânico (SENAI/MG), Especialista Sênior de Controle de Processos e Laboratório de Processos, Gerdau Aços Brasil, Ouro Preto, MG, Brasil.

³ Graduado em Engenharia de Minas (UFOP) e Especialista de Processos e Produtos, Gerdau Aços Brasil, Ouro Preto, MG, Brasil.

⁴ Graduando em Engenharia de Minas (UFMG) e estagiário superior de Controle de Processos e Laboratório de Processos, Gerdau Aços Brasil, Ouro Preto, MG, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

O espessamento é um processo que utiliza o princípio da sedimentação para recuperação de água bem como para ajustes na densidade da polpa mineral, visando às operações subseqüentes. A grande demanda por água na indústria mineral gera a necessidade de reaproveitamento desse insumo. Além disso, o desaguamento de rejeitos diminui o volume da polpa gerada, visando minimizar impactos socioambientais e custos operacionais.

A sedimentação é um fenômeno de transporte onde, devido à diferença de densidade dos constituintes de uma suspensão, a separação das partículas sólidas se dá pela ação do campo gravitacional, o que oferece ao processo as características de baixo custo e simplicidade operacional. A larga utilização industrial dos sedimentadores promove um crescente interesse na operação desses equipamentos, com a finalidade de melhorar a utilização e eficiência no atendimento aos objetivos operacionais. [1]

A presença de particulados em rejeitos de processamento mineral é um desafio para a eficiência do processo de separação sólido-líquido. Os polímeros floculantes são utilizados para aumentar a eficiência desse processo, por meio da agregação das partículas e formação de flocos que, por possuírem maior peso, possuem velocidade de sedimentação maior que partículas individualizadas. Dessa maneira, melhorias contínuas são requeridas na etapa de floculação, validadas por ensaios de espessamento.

Os ensaios convencionais para dimensionamento e otimização de espessadores, bem como avaliação da performance de floculantes no processo de desaguamento de polpas, são feitos por batelada, em escala de bancada. Segundo Chaves [2], como os ensaios de espessamento são descontínuos e a operação industrial é contínua, a transposição dos resultados obtidos em bancada podem não ser diretos. Existem tratamentos teóricos e modelos matemáticos – que, entretanto, não fornecem uma compreensão completa do fenômeno e por isso nem sempre funcionam bem – e métodos absolutamente empíricos.

Devido ao frequente uso exclusivo das metodologias convencionas para ensaios de espessamento, podem ser observadas algumas discrepâncias dos resultados obtidos laboratorialmente e industrialmente. Isso se deve, também, a efeitos intrínsecos relacionados à continuidade do processo e à escala. Alguns dos fatores observados são: i) impossibilidade de avaliar mudanças “*online*” no espessamento; ii) maximização da interferência dos movimentos ascensionais da água em direção ao “*overflow*” em resposta ao movimento descendente dos flocos em direção ao “*underflow*”, aumentando os efeitos do arraste hidrodinâmico; iii) inconsistência no processo de condicionamento do floculante na polpa, que pode não ser adequado o suficiente para promover um contato efetivo floculante-partícula ou mesmo ser vigoroso o suficiente ao ponto que as forças cisalhantes resultantes promovam a quebra dos flocos formados.

Neste artigo, são apresentadas as vantagens na utilização de um espessador contínuo em escala piloto na avaliação da performance de floculantes. Para tanto, foi realizado o espessamento de uma lama hematítica proveniente da Mina de Várzea

do Lopes, localizada na região do Quadrilátero Ferrífero/MG. O equipamento, foi ajustado para um “setpoint” de concentração de sólidos de 25% em peso no “underflow”, valor considerado ideal para a operação do espessador de lamas da Unidade de Tratamento de Minérios II (UTM II), da Gerdau Aços Brasil.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A amostra de lama utilizada nesse estudo foi coletada na planta de beneficiamento UTM II, com uma concentração de sólidos aproximada de 10% em peso e d_{95} de aproximadamente 20 μm , com teor de ferro de 52%, conforme apresentado na figura 1 e na tabela 1.

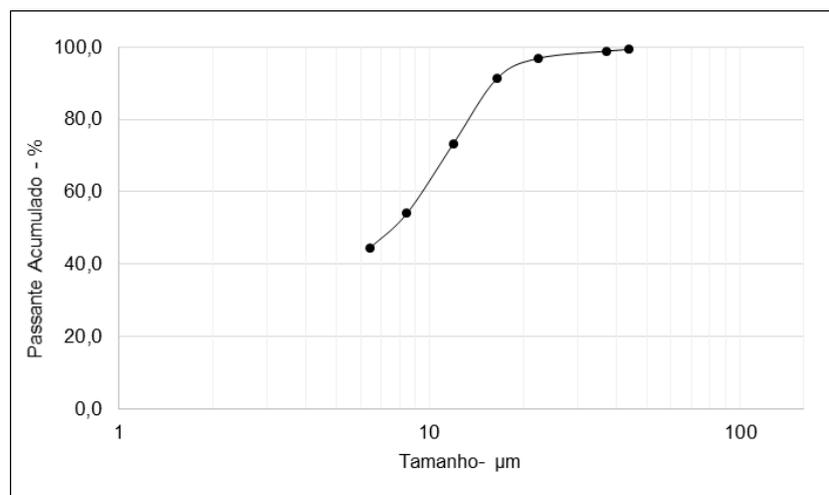


Figura 1. Distribuição de tamanho da lama

Tabela 1. Análise química da lama

Fluxo	FeT	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnT	P	PPC
Lama	51,93	6,05	6,14	4,12	0,180	6,60

O espessamento contínuo foi precedido por ensaios de bancada com o intuito de definir alguns parâmetros para os testes subsequentes, como diluição e dosagem ótima, além de servirem como base de comparação para os resultados obtidos em escala piloto.

2.1 Determinação da concentração de sólidos ótima

Neste ensaio variou-se a concentração de sólidos na polpa e determinou-se a velocidade de sedimentação da interface sólido-líquido para cada concentração inicial. De posse desses valores, calculou-se o fluxo de sólidos para cada concentração, sendo a melhor diluição aquela em que é possível processar a maior taxa de sólidos por área transversal.

2.2 Dosagem ótima de floculante

A tabela a seguir apresenta os floculantes em teste. Todas as soluções dos floculante foram preparadas com concentração de 0,04% em peso, mesma concentração utilizada na planta de reagentes da UTM II.

Tabela 2. Floculantes testados

Floculante	Fornecedor	"Status"
A	X	Em uso
B		
C	Y	Em análise
D		

A dosagem ótima de cada floculante, foi determinada pela metodologia de floculação “*screening test*” com o objetivo de avaliar de forma qualitativa a performance dos floculantes por meio de dosagens estagiadas e acumulativas, auxiliando na escolha dos floculantes a serem testados em escala piloto.

2.3 Espessamento contínuo

Os ensaios de espessamento contínuo objetivaram avaliar o processo de sedimentação e performance de cada floculante, validando seu uso na planta de beneficiamento sem a necessidade de um ensaio industrial. Dessa maneira, foram considerados como parâmetros, valores que mantivessem a proporção em peso de floculante e polpa. Este espessador foi projetado para simular o processo real e, devido à sua transparência, pode-se observar e medir com clareza as zonas de clarificação, sedimentação e compactação que compõem um espessador tradicional, possibilitando identificar e realizar medições na camada limitante.

Construído com um tubo vazado de acrílico com 100mm de diâmetro e 1300mm de altura, o espessador possui um fundo cônico, uma calha coletora de “*overflow*” de 200mm de diâmetro em seu ápice, além de um “*feedwell*” de 200mm de comprimento e um rake que compreende toda a extensão do equipamento. A figura a seguir apresenta o esquema da montagem do ensaio:

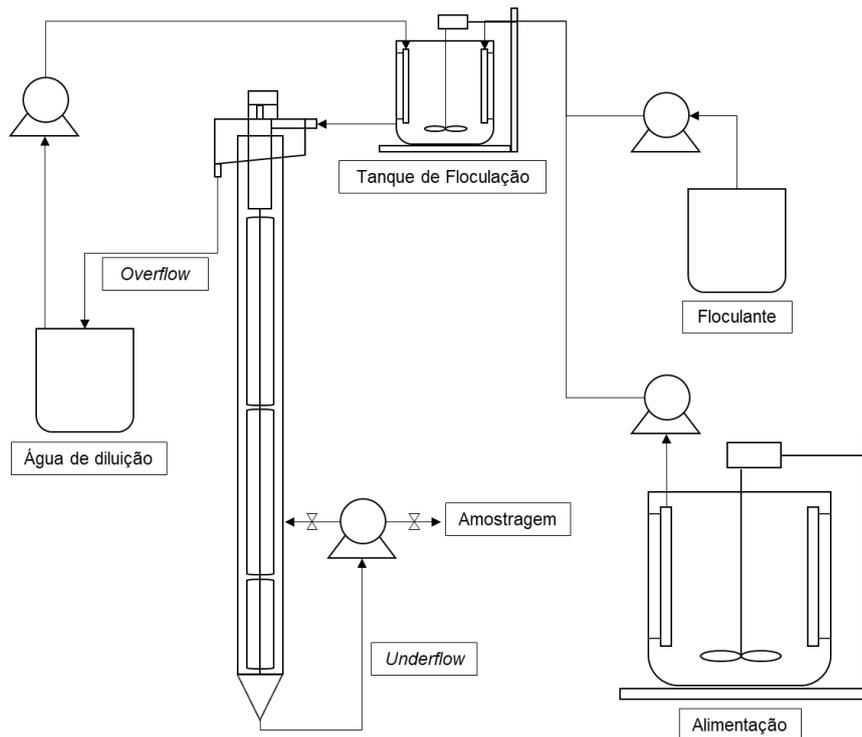


Figura 2. Diagrama do espessador contínuo em escala piloto

Nessa montagem, o tanque de flocação tem a função de aumentar a probabilidade de colisão entre o floculante e as partículas minerais, facilitando a formação dos flocos. Para ele são bombeados a amostra de lama a ser ensaiada, o floculante que terá sua performance analisada e a água de diluição que diminuirá a concentração de sólidos da polpa a ser espessada. Afim de evitar o bombeamento da polpa floculada, que poderia degradar os flocos recém-formados, fez-se a transferência do tanque de flocação para o espessador via transbordo e gravidade. Após o “underflow” atingir um “set point” definido para a concentração de sólidos, a recirculação do mesmo é cessada e o ensaio é finalizado quando se observa a manutenção desse valor nas aferições subsequentes.

Segundo Torquato [3], a dificuldade em se utilizar espessadores pilotos para otimização e dimensionamento de espessamento industrial reside na dificuldade de se regularizar o regime operacional para garantir a constância da vazão, da concentração mássica de sólidos e de sua granulação na alimentação, durante todo o período do ensaio. Afim de contornar esse problema, todo o sistema de transferência foi feito com bombas peristálticas “Watson Marlow” das séries QDOS 30 e QDOS 60, sempre calibradas antes de cada teste. Além disso, o bombeamento da alimentação foi feito direto de um tanque de agitação, diminuindo a segregação da polpa.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Determinação da concentração de sólidos ótima

A figura 3 apresenta os resultados dos testes para verificação do ponto ótimo de diluição para a alimentação do espessador. Observa-se na curva, um ponto de

máximo que corresponde à concentração de 5% de sólidos com taxa de $1,28\text{t/m}^2\cdot\text{h}$, representando o equilíbrio entre velocidade de sedimentação e taxa de sólidos (t/h).

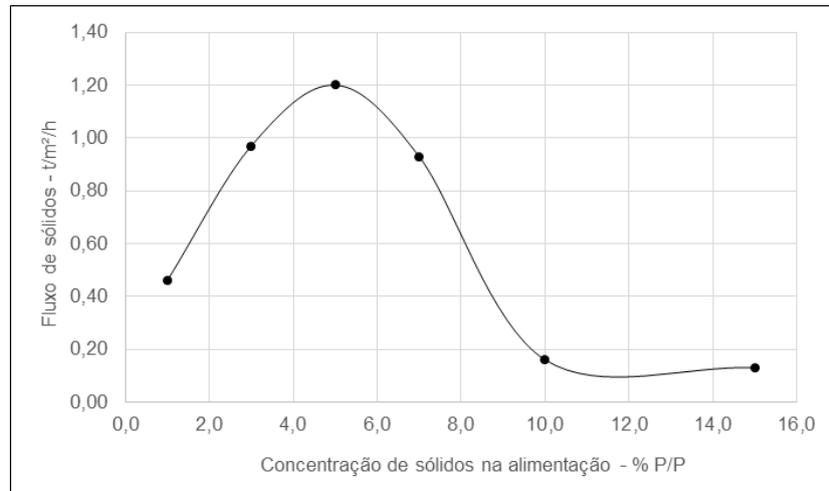


Figura 3. Curva de fluxo de sólidos

Pela figura ainda percebemos um ponto de mínimo com concentração de sólidos em torno de 10% em peso. A amostra de lama utilizada nos ensaios de espessamento possuía 9,5% de sólidos, e dessa maneira, foi diluída para a concentração de 5%. Essa diluição fornece melhores condições cinéticas e espaciais para a movimentação vertical dos flocos em direção ao fundo do leito de sedimentação, ou seja, será possível transportar pela seção horizontal do espessador a maior taxa de sólidos por área.

Alterando as condições de processo, operando-se mais à direita do ponto de máximo, ocorrerá uma redução na velocidade de sedimentação e a interface sólido-líquido se moverá para os níveis mais altos na seção vertical do espessador, diminuindo a camada de líquido clarificado até verter pelo “*overflow*”.

3.2 Dosagem ótima

De forma qualitativa pode ser visto pela figura 4 que os floculantes do fornecedor Y apresentaram melhor performance em relação ao atual em uso, necessitando de menor dosagem para formar flocos com velocidade de sedimentação de 10m/h .

Dessa maneira, foram selecionados para o ensaio piloto o floculante “C” e o floculante “A” de referência. Além disso, observa-se que, para todos os floculantes testados, a dosagem ótima foi inferior a 40g/t .

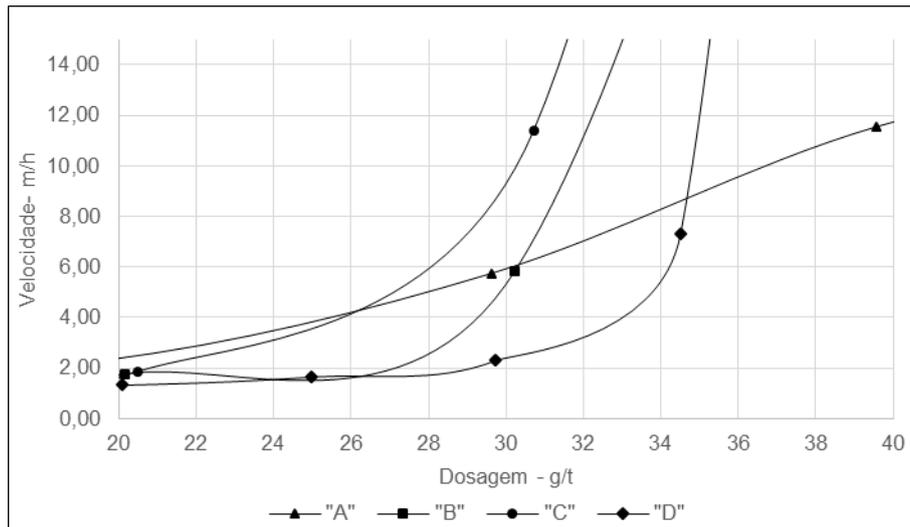


Figura 4. Curva de dosagem ótima "screening test"

3.3 Espessamento contínuo

A operação do espessador piloto, foi realizada conforme os parâmetros apresentados na tabela 2, observa-se que a vazão de "underflow" foi ajustada de forma que a concentração de sólidos fosse igual a obtida pelo espessador industrial. Estes parâmetros relacionados com a operação industrial, foram mantidos fixos sendo alterados somente o tipo e dosagem de floculante.

Tabela 2. Parâmetros fixos utilizados no espessamento piloto

Concentração		Alimentação				Diluição		Underflow			
% Sól.	%P/P	Vazões				% Sól.	Q _{H2O}	Concentração		Vazões	
		Sólido	Q _{alim}	Fluxo Sol.	AU	%P/P	mL/min	% Sól.	Dp	Sólido	Q _{UF}
		g/min	mL/min	t/m ² /h	t/m ² /h			%P/P	g/cm ³	g/min	mL/min
9,49		6,41	62,6	0,049	20,41	5,00	60,7	25,0	1,24	6,41	20,7

Com o objetivo de comparar a performance do espessador piloto e o industrial, foi realizado o primeiro teste com o floculante "A" utilizado atualmente na planta obtendo-se uma proximidade conforme mostrado na tabela 3. Industrialmente a concentração de sólidos no "underflow" fica em torno de 25% em peso e a turbidez entre 85-120 NTU.

O segundo teste realizado com o floculante "C" e partindo-se da dosagem praticada na planta industrial de 80g/t, verificou-se a oportunidade de otimização do reagente em função das características dos flocos formados. Desta forma, a vazão foi sendo reduzida de modo "online" chegando até o limite mínimo de 50 g/t, conseguindo-se operar o equipamento de forma satisfatória.

Tabela 3. Resultados obtidos no teste piloto

Teste	Floculante	"Underflow"	Dosagem	Tempo	Turbidez
		% P/P	g/t	min	NTU
1º	A	(25)	(80)	(90-150)	(85-120)
		24,9	80	80	80
2º	C		80	-	-
			65	-	-
		25,9	50	40	70

(xx) - Valor referência da planta industrial

A partir do reagente em teste otimizado, realizou-se o ensaio piloto, a uma vazão que permitisse operar nas mesmas condições operacionais da planta de beneficiamento, ou seja, mesmo fluxo de sólidos (peso de sólido/área x hora).

As figuras 5 e 6 a seguir apresentam os resultados obtidos nos ensaios de espessamento contínuo para a variação da altura da camada de compactação e concentração de sólidos no "underflow", em função do tempo.

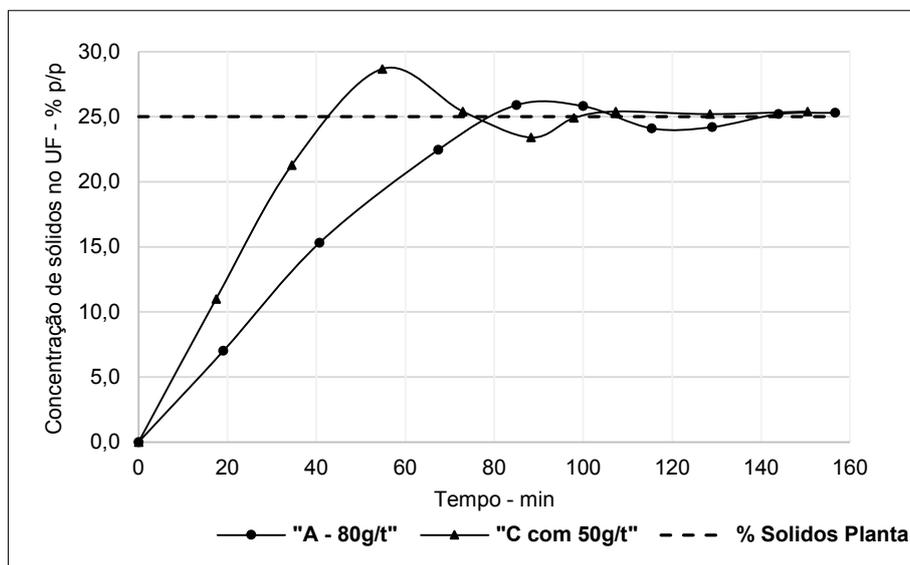


Figura 5. Concentração de sólidos do "underflow"

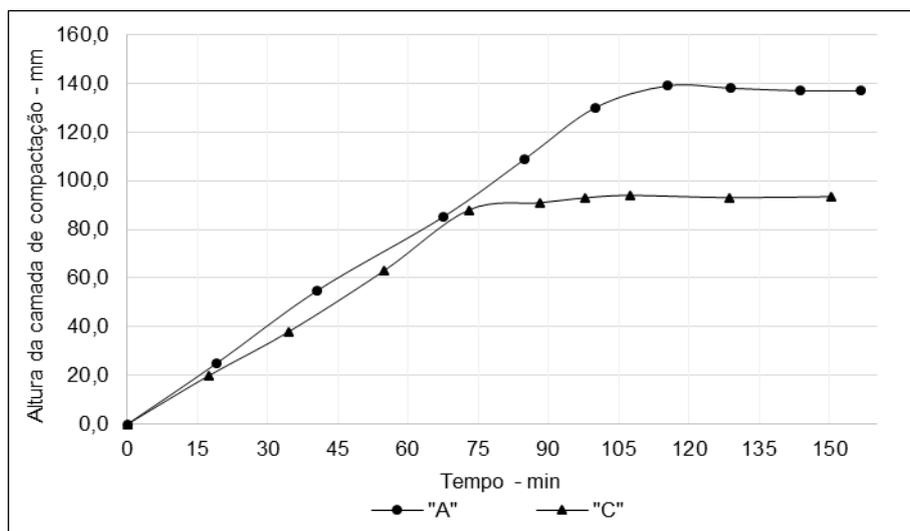


Figura 6. Altura da camada de compactação

Pode-se concluir que com o floculante “C” foi necessário um tempo 36% menor para atingir a concentração de sólidos requerida no “*underflow*”, com uma altura da camada de compactação 45% menor, quando comparado com os resultados utilizando o floculante “A”.

Apesar de apresentar maior velocidade de sedimentação devido ao grande tamanho dos flocos formados pelo floculante “C”, a altura de compactação nesse teste foi menor que a altura com o floculante “A”. Isso pode ser explicado pela compressibilidade dos flocos formados. Como pontuado por Chaves [2], flocos formados por floculantes de elevado peso molecular são, normalmente, maiores e com maior espaço para presença de água. Logo, apesar do grande tamanho, estes apresentam menor compactidade e resistência. Dessa maneira, se tornam mais compressíveis e a altura da camada de compactação será menor.

A figura 7, a seguir, mostra os flocos formados com a utilização de cada floculante, onde pode-se observar o menor tamanho dos flocos, bem como o aspecto mais turvo quando utilizando o floculante “A”.

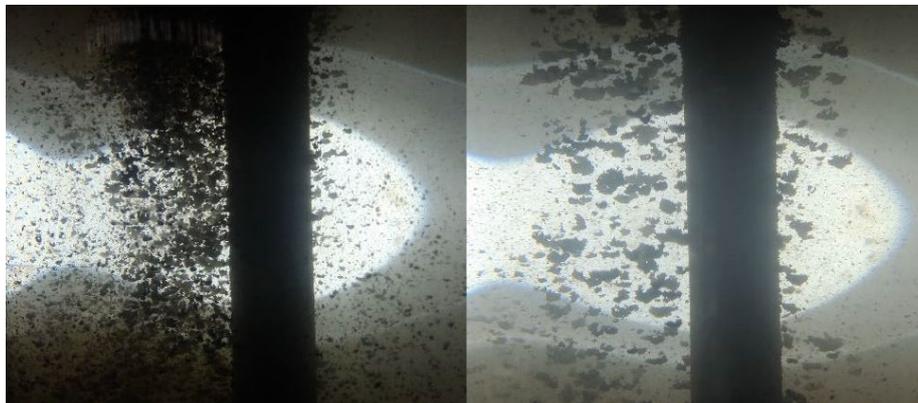


Figura 7. Flocos formados com floculante “A” (esquerda) e com floculante “C” (direita)

A figura 8 a seguir apresenta a variação de turbidez durante o ensaio. A turbidez média do “*overflow*” obtida para o teste com o floculante “C” foi 24% menor quando comparado com o obtido com o floculante “A”. Entretanto, todos os valores de turbidez obtidos ficaram abaixo de 200 NTU, valor limite para a reutilização da água clarificada como água de processo.

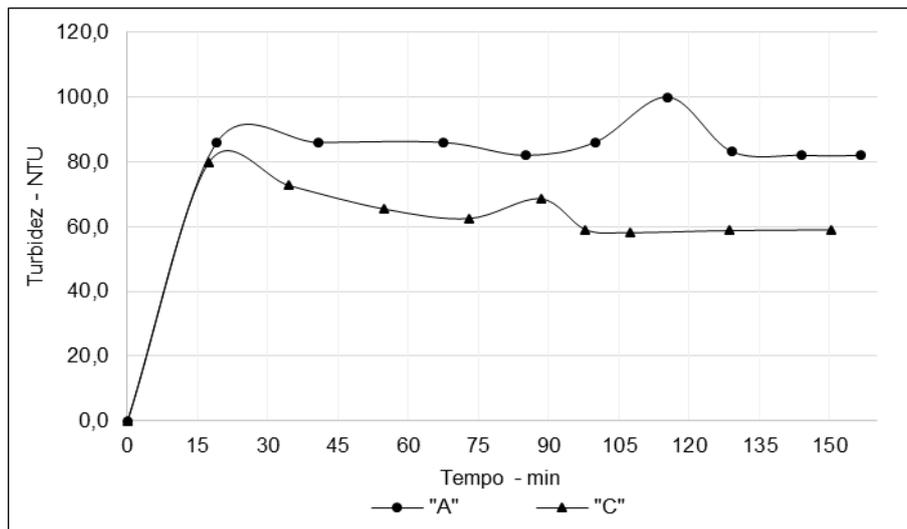


Figura 8. Turbidez do “overflow” no tempo

Pode ser observado ainda que houve um decréscimo da turbidez logo após a retirada da recirculação de “underflow”. Isso ocorre, pois, ao retirar a recirculação, diminuimos a vazão mássica que chega na camada de compactação, diminuindo seu volume, e conseqüentemente sua altura. Dessa maneira, existirá uma movimentação vertical para baixo de todas as zonas que constituem o espessador, incluindo a zona de clarificação. Assim, a turbidez do “overflow” do espessador será menor.

3 CONCLUSÃO

Pelos resultados obtidos, principalmente no primeiro teste, conclui-se que o espessador piloto é capaz de validar a performance do floculante para utilização na planta industrial, sem a necessidade de testes industriais.

A utilização do equipamento é também favorável devido ao tempo em que se obtém os resultados, podendo ainda avaliar outros parâmetros de processo.

Com relação ao floculante “C”, conclui-se que, o mesmo possui melhor performance em relação ao floculante atualmente em uso, conforme os resultados obtidos.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Gerdau Aços Brasil, à Gerência de Planejamento e Qualidade pelo constante apoio e incentivo à pesquisa e inovação, e à equipe do Laboratório de Processos da Mina de Miguel Burnier.

REFERÊNCIAS

- 1 Luz AB, Sampaio JA, Almeida SLM. Tratamento de Minérios. Rio de Janeiro: CETEM/MCT; 2004.
- 2 Chaves AP. Teoria e Prática do Tratamento de Minérios. São Paulo: Signus Editora; 2004.
- 3 Torquato NC, Luz JAM. Espessadores no beneficiamento de minério de ferro. Revista da Escola de Minas. 2011; 64(1):91-96.