

## **DESENVOLVIMENTO DE UMA COLUNA DE FLOTAÇÃO EM BATELADA PARA O ENRIQUECIMENTO DO REJEITO FINO GERADO NO PROCESSO DE CONCENTRAÇÃO DE CARVÃO**

**Adriel Constantino Machado<sup>1</sup>  
Márcio Zanuz<sup>2</sup>**

**Resumo:** O trabalho apresenta o desenvolvimento de uma coluna de flotação em batelada para avaliação, do processo de flotação para concentração do rejeito fino gerado nos processos de beneficiamento de carvão. Consigna-se que o setor de carvão vem passando por desafios significativos e que, diga-se, deverão ser levados em consideração no projeto e na operação das instalações de beneficiamento do minério. A partir disso, surge o ideal de que os profissionais desta área, precisam apresentar novas rotas de beneficiamento, visando a redução de perdas no processo. Neste sentido, tem-se a flotação em coluna, que, consubstancia-se em um equipamento de grande escala que trabalha com as características de hidrofobicidade das partículas, onde o contato das bolhas de ar com as partículas hidrofóbicas se “atraem”. Estudos foram realizados com material, proveniente da polpa de rejeitos fino que passam pelo processo de espessamento, filtragem e deposição em células de rejeitos. Salienta-se que, a amostra de rejeito fino, foi submetida a caracterização do teor de cinza e distribuição granulométrica e a seis ensaios de coluna em bancada com parâmetros pré-estabelecidos. A fabricação da coluna de flotação, foi apresentada, tendo como base, artigos e estudos científicos apresentados na revisão bibliográfica, a construção da flotação seguiu um total de 2 metros de altura, 2” de diâmetro e alimentação da polpa de minério a 2/3 da altura total. A parametrização definida para o material final foi o teor de cinza. Os resultados obtidos mostram quantidades consideráveis de carvão contido no rejeito final do processo. Derradeiramente, insta dizer que o projeto tem como foco à recuperação das partículas ultrafinas de carvão por meio do processo de beneficiamento em coluna.

**Palavras-Chave:** Carvão; Cinzas; Concentração; Flotação em Coluna; Rejeito;

### **1 INTRODUÇÃO**

Flotação é o processo de separação de partículas sólidas, que aproveita as diferenças nas características superficiais das espécies existentes. Benvindo da Luz afirmou que, “cada mineral apresenta uma superfície única, resultante de uma composição química e estrutura cristalina definida.” (LUZ, 2018).

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia de Minas. E-mail: adrielconstantinomachado@gmail.com

<sup>2</sup> Prof. do Cento Universitário UniSATC. E-mail: marcio.zanuz@satc.edu.br

A indústria termoeétrica e metalúrgica são as principais consumidoras de carvão no Brasil. Estes requerem especificações físicas e químicas e um certo grau de consistência com respeito à qualidade e garantia do fornecimento do produto.

O processo de flotação em coluna tem por objetivo a concentração mineral, é um equipamento de grande escala que trabalha com as características de hidrofobicidade das partículas, onde o contato das bolhas de ar com as partículas hidrofóbicas se “atraem”.

O princípio de funcionamento da flotação em coluna é semelhante a flotação convencional, porém se difere em quatro aspectos básicos, geometria (relação altura x diâmetro efetivo), água de lavagem, ausência de agitação mecânica e no sistema de geração de bolhas (CHAVES, 2013).

Segundo Nunes (2015) para que um processo industrial de coluna obtenha sucesso é de suma importância a realização de teste de flotação em uma unidade piloto que permita avaliar o índice de flotabilidade dos minerais de interesse frente a diferentes tipos e dosagens de reagentes e condições operacionais.

No Brasil, o processo é comumente utilizado nos mais diversos bens minerais, porém, na indústria de beneficiamento de carvão “mineral” se desconhece a aplicabilidade deste equipamento.

Devido ao rejeito ultrafino de carvão ser depositado em células de rejeitos, buscou-se um método de maior eficiência para o processamento de ultrafino de carvão, para isto o presente estudo de caso apresenta um projeto de uma flotação de coluna por batelada em escala laboratorial, onde as amostras de rejeitos fino de carvão foram submetidas a testes flotação. O motivo de relevância é que com o projeto não apenas as plantas em operação consigam uma maior eficiência no processamento, mas também que depósitos de rejeitos ultrafinos possam ser rebeneficiados, trazendo benefícios de quesito ambiental, qualidade, estabilidade no produto a ser fornecido e lucratividade.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 INDÚSTRIA DE BENEFICIAMENTO DO CARVÃO**

Segundo a Associação Brasileira do Carvão Mineral (2020) em Santa Catarina, as atividades da exploração das lavras de carvão iniciaram no final do Século XIX, realizadas por uma empresa britânica que construiu a primeira ferrovia do estado. A baixa qualidade do carvão catarinense, fez com que os ingleses não tivessem interesse na região, então o Governo Federal repassou a concessão para as indústrias Cariocas, inicialmente, Henrique Lage, Álvaro Catão e Sebastião Netto Campos.

O setor de carvão está enfrentando vários desafios no presente e no futuro que devem ser considerados no projeto e na operação das instalações de beneficiamento de carvão. Esses desafios determinam que nos esforcemos cada vez mais para melhorar as operações unitárias para lidar com questões de segurança, demanda, qualidade do produto, maior aproveitamento das reservas e questões regulatórias. (ARNOLD, 2007).

Existem questões específicas e significativas a serem consideradas como a disponibilidade de mão-de-obra especializada, os altos teores de estéril e rejeito devido as jazidas de menor rendimento, problemas ambientais associados ao descarte de rejeitos e, o monitoramento e controle da segurança no local de trabalho (ARNOLD, 2007). A preparação do carvão serve à vários propósitos. Sendo que, um dos principais objetivos é aumentar o poder calorífico do carvão por remoção mecânica das impurezas (matéria inorgânica). Isso geralmente é necessário para cumprir as especificações do mercado consumidor (DIVISION, 1999).

Para o processo de tratamento do carvão duas características inerentes ao minério devem ser consideradas: a fração granulométrica a ser trabalhada e suas propriedades físico-químicas. Com estes dados são escolhidos métodos e equipamentos diferentes para concentração mineral (REDIVO, 2002).

## 2.2 FLOTAÇÃO DE CARVÃO

A maioria dos equipamentos de flotação industrial usados na indústria do carvão são células mecânicas convencionais. Essas máquinas consistem em uma série de tanques com agitadores (geralmente de 4 a 8 células) por onde a polpa de carvão fino flui. Os agitadores, por sua vez, são usados para garantir que as partículas sejam mantidas em suspensão e para dispersar o ar que entra através do conjunto do

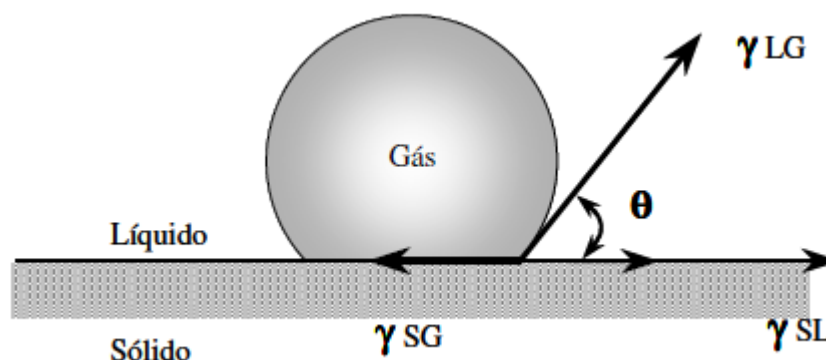
eixo rotativo. O ar é injetado na célula usando um soprador ou aspirado para dentro da célula pela pressão negativa criada pelo impulsor rotativo (LASKOWSKI, 2001).

A importância da polaridade reflete o fato de que existe afinidade entre substâncias ambas polares ou ambas apolares, não havendo, geralmente, afinidade entre uma substância polar e outra apolar. No sistema de flotação, a fase líquida é sempre água, que é uma substância polar, enquanto a fase gasosa é quase sempre ar, que é composto por moléculas apolares (CHAVES, 2013).

Então uma substância hidrofóbica é uma substância cuja superfície é essencialmente apolar, que possui uma afinidade maior com o ar do que com a água. Por outro lado, uma substância hidrofílica é uma substância cuja superfície é polar e sua afinidade pela água é maior do que sua afinidade pelo ar (CHAVES, 2013).

Segundo Capponi (2005), a hidrofobicidade de um sólido pode ser avaliada diretamente pelo ângulo de contato entre a fase sólida, a fase líquida e a fase gasosa. Ao determinar o ângulo medido convencionalmente na fase líquida, pode-se admitir que as interfaces sólido-líquido, sólido-gás e gás-líquido atingiram o equilíbrio e estão totalmente saturadas umas com as outras. Se o ângulo apresentar um valor mais alto, as bolhas se espalharão por toda a superfície, portanto, os sólidos que não foram umedecidos pelo líquido (meio aquoso) são considerados hidrofóbicos.

**Figura 1:** Representação Esquemática do ângulo de contato entre as três fases: sólido, líquido e gasosa em equilíbrio.



Fonte: Capponi, Fabiano (2005)

A estrutura química dos carvões é formada por hidrocarbonetos de cadeia longa e estruturas cíclicas, a qual determina a propriedade de hidrofobicidade natural (RUIZ E CHAVES, 2009). Como qualquer outro processo de flotação por espuma, a

flotação de carvão também requer o uso de reagentes. Já que o carvão é agrupado com grafite, enxofre, talco e molibdenita, o mesmo grupo de sólidos hidrofóbicos (LASKOWSKI, 2001).

Reagentes de flotação são compostos orgânicos e inorgânicos usados para controlar as características de interface envolvidas no processo. De acordo com seu papel no processo de flotação, os reagentes são tradicionalmente divididos em coletores, agentes espumantes e modificadores (CHAVES, 2013).

Neste sentido, Chaves (2013) entende-se os reagentes como sendo:

- Coletores: são aqueles reagentes que atuam na interface sólido/líquido, alterando a superfície mineral, que passa de caráter hidrofílico para hidrofóbico;
- Espumantes: substâncias que promovem a estabilidade e consistência das bolhas de ar, que são encarregadas do transporte de minérios ou rejeitos até o topo da flotação;
- Modificadores: diferente dos coletores e espumantes as ações dos modificadores são distintas. Modulação de pH, ativadores, depressores etc.

### 2.3 FLOTAÇÃO EM COLUNA

Os primeiros projetos e estudos referentes a flotação em coluna iniciaram em meados dos anos 60, porém apenas 21 anos depois em Quebec, Canadá, entrou em operação a primeira célula de coluna com escala industrial, com 0,91 m de diâmetro (CHAVES, 2013).

O modelo de coluna canadense tem como característica sua altura de 9-15 m com um diâmetro variando de 0,5 a 3 m. Outras características que distinguem a coluna de outras máquinas é seu arranjo de alimentação contracorrente, uso de água de lavagem e seu sistema de geração de bolhas (LASKOWSKI, 2001).

Segundo Arnold (2007) a flotação em coluna tem se mostrado um meio eficiente e econômico de recuperação para o tratamento de finos de carvão. Quando projetadas corretamente, as colunas de flotação fornecem uma alta recuperação de carvão, enquanto mantêm uma baixa quantidade de cinza do produto.

Esta seletividade é o resultado eficaz da lavagem simultânea de espuma, que elimina o arrastamento hidráulico não seletivo de minerais contendo cinzas ultrafinos para limpar o produto de carvão (ARNOLD, 2007)

No processo de flotação em coluna, o volume de alimentação da polpa é de cerca de dois terços da altura total, contracorrente as bolhas de ar ascendente, produzidas na base da coluna, resultando na coleta das partículas hidrofóbicas. Na parte superior da flotação, pode-se utilizar um sistema de água de lavagem para remover partículas hidrofílicas transportadas por arreaste (OLIVEIRA E AQUINO, 2006).

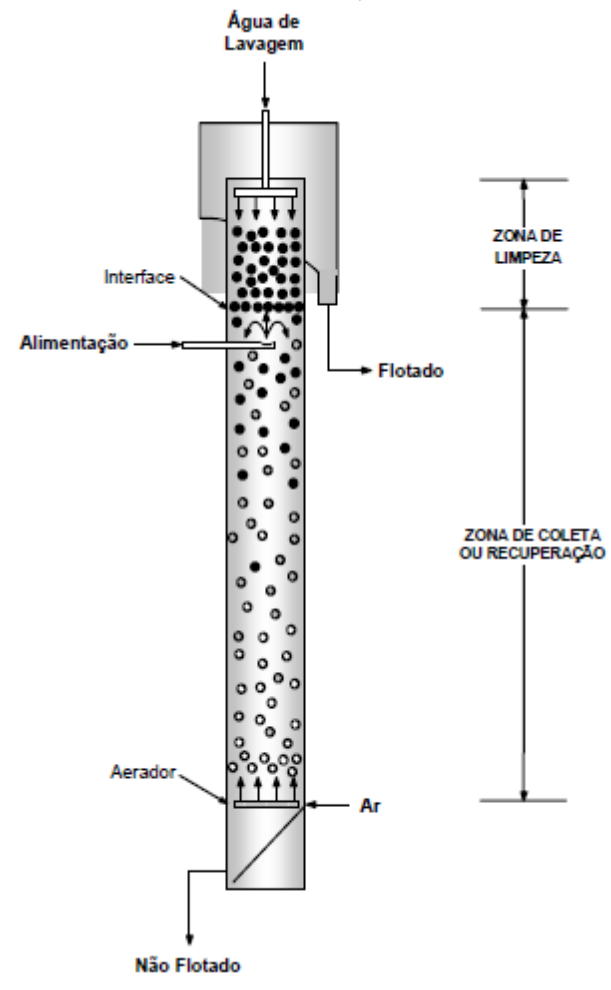
As partículas minerais hidrofóbicas coletadas constituem a fração flotada, sendo separadas das partículas hidrofílicas, que saem pela base da coluna e constituem a fração deprimida (OLIVEIRA E AQUINO, 2006).

Segundo Chaves (2013) no perfil da flotação em coluna (Figura 2), é possível identificar duas regiões distintas:

a) **Zona de Coleta:** também conhecida como zona de recuperação, situada entre interface polpa/espuma e o sistema de aeração;

b) **Zona de Limpeza:** também conhecida como camada de espuma, situada entre a interface polpa/espuma e o transbordo;

**Figura 2:** Representação Esquemática de uma Coluna de Flotação.

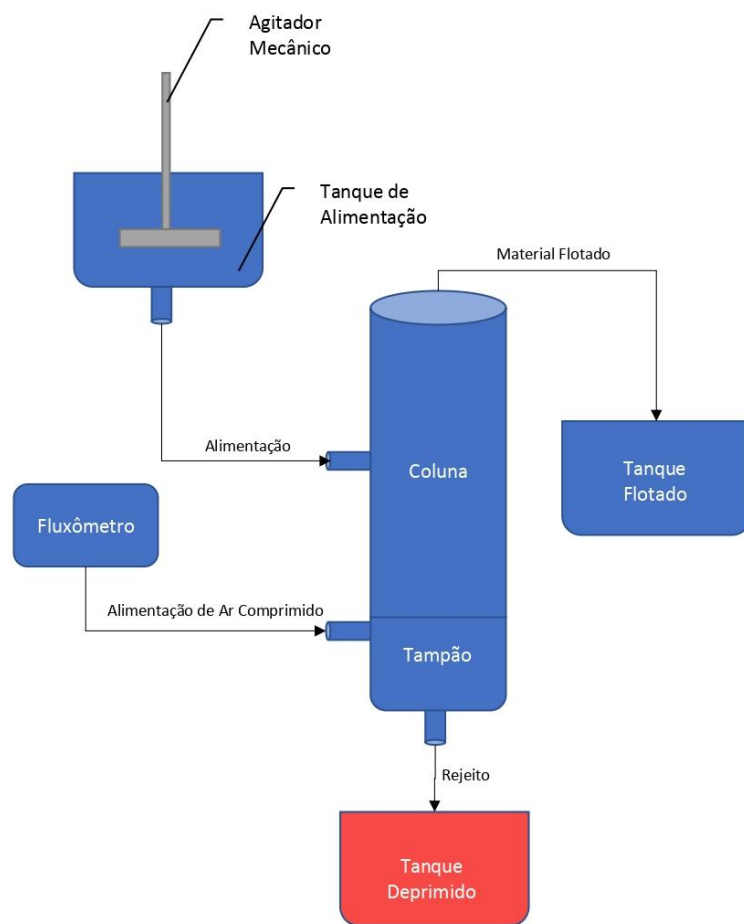


Fonte: Oliveira e Aquino (2006)

### 3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS/METODOLOGIA

Com o objetivo de facilitar as atividades realizadas neste trabalho, foi elaborado um fluxograma do processo de flotação em coluna conforme mostra a Figura 3, com ele foi elaborado a lista de materiais necessários para construção da coluna de flotação conforme a Tabela 1.

**Figura 3:** Fluxograma do Processo de Flotação em Coluna.



Fonte: Do Autor (2020)

**Tabela 1:** Lista de Materiais

Lista de Materiais					
Material	Ø Entrada/Saída	Quantidade	Unidade de Medida	Valor Unitário	Total
Tubo PVC	2"	2	m	R\$ 12,00	R\$ 24,00
Tampão Tubo PVC	2"	1	un.	R\$ 15,00	R\$ 15,00
Conexão para Registro	1/2"	4	un.	R\$ 12,00	R\$ 48,00
Registro	1/2"	4	un.	R\$ 15,00	R\$ 60,00
Mangueira pu	1/2"	4	m	R\$ 3,78	R\$ 15,12
Rotâmetro	1/2"	1	un.	R\$ 350,00	R\$ 350,00
Engate Rápido pu	1/2"	6	un.	R\$ 16,00	R\$ 96,00
Flange PVC	1/2"	1	un.	R\$ 18,00	R\$ 18,00
Tanque Reservatório 20 l	-	3	l	R\$ 20,00	R\$ 60,00
Compressor de Ar	-	1	-	R\$ 500,00	R\$ 500,00
Parafusadeira 12 Volts	-	1	-	R\$ 230,00	R\$ 230,00
<b>Total</b>					<b>R\$ 1.416,12</b>

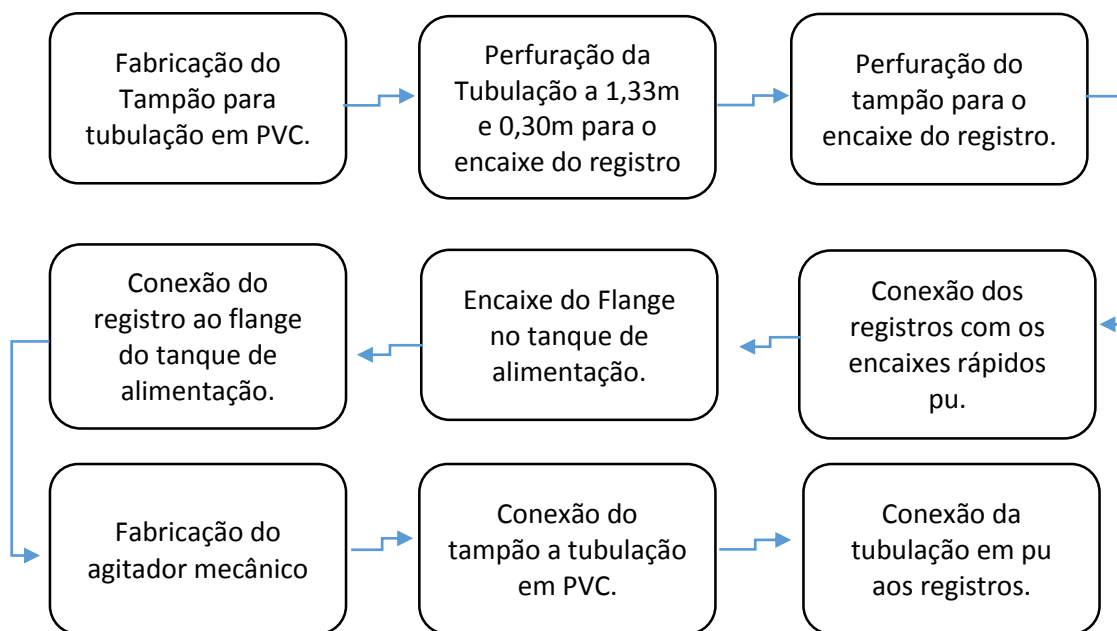
Fonte: Do Autor (2020)



### 3.1 DESENVOLVIMENTO DA COLUNA DE FLOTAÇÃO POR BATELADA

A construção do sistema de flotação em coluna seguiu os passos descritos na Figura 4:

**Figura 4:** Fluxograma das etapas de construção da Coluna de Flotação em batelada



Fonte: Do Autor (2020)

No desenvolvimento da coluna utilizou-se uma coluna em PVC com 2m de altura e 50,8mm de diâmetro. Para fabricação do borbulhador aplicou-se uma válvula reguladora para cilindro de ar comprimido com rotâmetro. Para dispersar o ar na coluna foi fabricado um dispersor com tecido de tela filtrante industrial malha 250 micrometro, o qual foi colocado a 15% da altura total da coluna.

O sistema de alimentação da polpa de minério foi elaborado a 2/3 da altura da coluna e o sistema de agitação foi feito com uma parafusadeira. A saída do rejeito ficou na parte inferior da coluna de flotação. A flotação em coluna e o rotâmetro são apresentados nas Figuras 5 e 6.

**Figura 5: Flotação em Coluna por Batelada**



Fonte: Do Autor (2020).

**Figura 6: Rotâmetro**



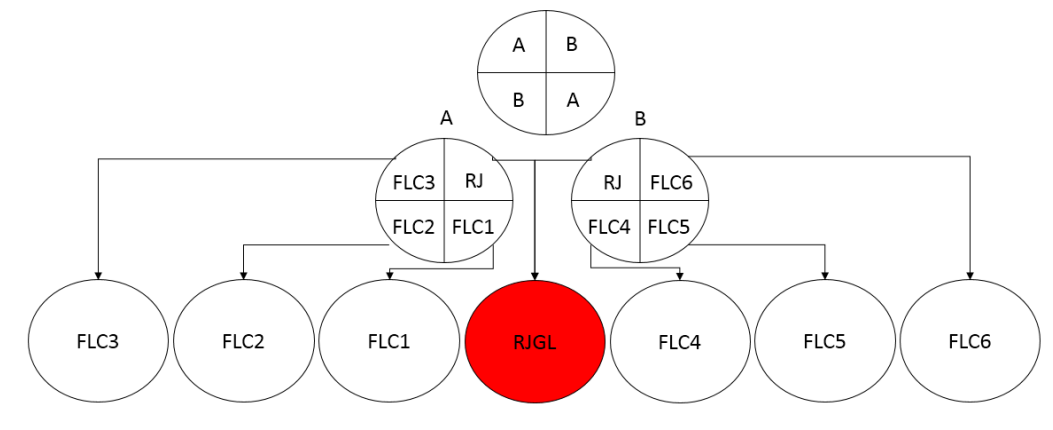
Fonte: Do Autor (2020)

### 3.2 AMOSTRAGEM

A amostra global do rejeito fino de carvão proveniente do descarte de ultrafinos do processamento de espessamento e filtragem de rejeitos, foi amostrada de forma aleatória entre as placas do filtro prensa de rejeito em uma planta de beneficiamento de carvão na região Sul do Estado de Santa Catarina. Foram coletados 24 kg de amostra. A amostra foi quarteada previamente em duas partes nomeadas como fração “A” e fração “B”, posteriormente cada fração foi quarteada em quatro partes.

Na fração “A” foi retirada uma alíquota para compor a análise de caracterização do rejeito fino e as outras três alíquotas foram caracterizadas como amostra FLC 1, FLC 2 e FLC 3. Na fração “B” foi retirada uma alíquota para compor a análise de caracterização do rejeito fino e as outras três alíquotas foram caracterizadas como amostra FLC 4, FLC 5 e FLC 6. As alíquotas provenientes da Fração A+B foram homogêneas para caracterização da amostra global do rejeito fino. As etapas de quarteamento e identificação são apresentados na Figura 7.

**Figura 7:** Fluxograma das etapas de Quarteamento e Identificação.



Fonte: Do Autor (2020)

### 3.3 TESTE DE FLOTAÇÃO EM BANCADA

As amostras FLC 1 a 6 foram submetidas ao processo de flotação em coluna por batelada, que foram realizados da seguinte forma:

- a) Recondicionamento da amostra em polpa, adicionando-se 13 litros de água e 3 kg de amostra sobre agitação mecânica, a polpa foi recondicionada a 20% de sólidos;
- b) Adicionou-se a dosagem de reagentes na polpa, sendo o espumante óleo de pinho e o coletor óleo diesel, os reagentes foram dosados de forma diferentes por amostra conforme a tabela 2;
- c) Condiçãoou-se a polpa junto com os reagentes durante 120 segundos;
- d) Adicionou-se água até a metade da altura da coluna;
- e) Liberou-se a válvula de ar comprimido (após condicionamento) para início do processo de flotação, o fluxo de ar foi controlado em  $\text{cm}^3/\text{s}$  através do rotômetro conforme a tabela 2.
- f) Os materiais flotados (Figura 8) foram identificados como FFLC 1 a 6 e encaminhados ao laboratório para serem submetidos ao processo de secagem, preparação e análise do teor de cinza;
- g) Os rejeitos foram identificados como RJFLC 1 a 6 e encaminhados ao laboratório para serem submetidos ao processo de secagem, preparação e análise do teor de cinzas;

**Tabela 2:** Parâmetros de Análises

Amostra	Parâmetros Variáveis		
	Óleo de Pinho (g/t)	Óleo Diesel (g/t)	Vazão de Ar ( $\text{cm}^3/\text{s}$ )
<b>FFLC 1</b>	667	333	200
<b>FFLC 2</b>	667	333	167
<b>FFLC 3</b>	667	133	133
<b>FFLC 4</b>	667	133	83
<b>FFLC 5</b>	533	0	167
<b>FFLC 6</b>	533	0	83

Fonte: Do Autor (2020)

**Figura 8:** Material Flotado (Carvão).



Fonte: Do Autor (2020)

### 3.4 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Após os ensaios as amostras foram submetidas ao processo de preparação, onde foram secadas em estufa até 140 °C durante 12 horas, e preparadas conforme a norma NBR:8292.

### 3.5 ANÁLISES FÍSICAS

As amostras FFLC 1 a 6 e as amostras RJFLC 1 a 6, foram submetidas ao ensaio do teor de cinza conforme procedimento descrito a seguir. A amostra de rejeito fino de carvão totalizando 6 kg foi submetida à caracterização física quanto ao tamanho e distribuição das partículas conforme a NBR-8629 em peneirador eletromecânico nas malhas de 2000 $\mu$ m, 500 $\mu$ m, 350 $\mu$ m, 6250 $\mu$ m, 149 $\mu$ m e 74 $\mu$ m, e no ensaio do teor de cinza em forno mufla com adição de oxigênio a 83 cm<sup>3</sup>/s durante o período de 1,50h conforme a NBR-8289.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO REJEITO FINO DE CARVÃO

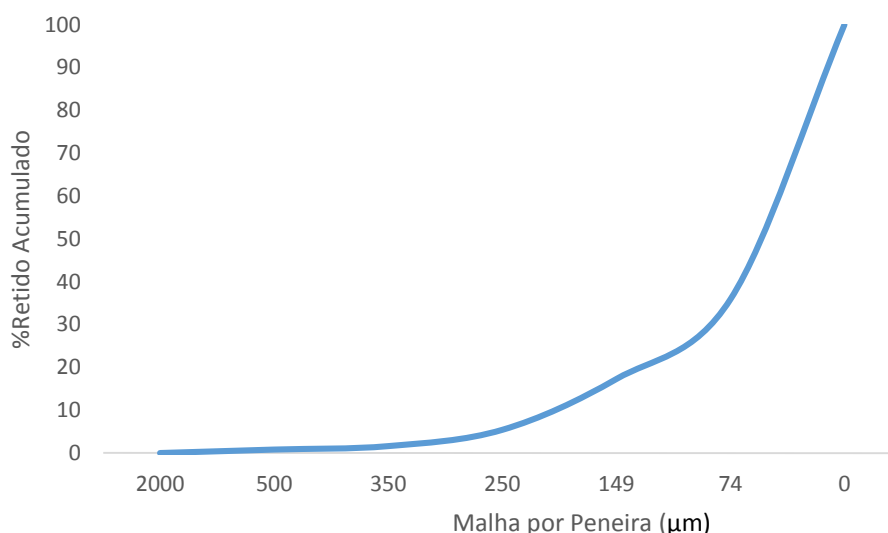
#### 4.1.1 Teor de Cinza

O resultado obtido na caracterização física do teor de cinza no rejeito fino de carvão foi de 76,25%, o teor de cinza aceito pelo mercado termoelétrico é de no máximo 43%. Devido ao alto teor de cinza o material é depositado em células de rejeitos.

#### 4.1.2 Distribuição Granulométrica

Na Figura 9 é apresentada a distribuição do tamanho das partículas da amostra de rejeito utilizada nos ensaios do teste de flotação em coluna:

**Figura 9:** Distribuição do tamanho das partículas



Fonte: Do Autor (2020)

Observa-se que cerca de 17% das partículas são maiores que 149 μm e 64% abaixo de 74 μm, caracterizando-a como amostra de granulometria ultrafina com estreita faixa de tamanho das partículas, para um típico minério de carvão.

#### 4.2 RESULTADOS FLOTAÇÃO EM COLUNA

A Tabela 3 – apresenta os resultados obtidos com os testes de bancada das amostras submetidas ao ensaio de flotação em coluna.

**Tabela 3:** Resultados das amostras do teste da flotação em coluna.

Flotado (Carvão)			Rejeito		
Amostra	Recuperação	Cinza	Amostra	Recuperação	Cinza
<b>FFLC 1</b>	22,66%	52,08%	<b>RJFLC1</b>	77,34%	82,79%
<b>FFLC 2</b>	16,11%	46,58%	<b>RJFLC2</b>	83,89%	79,51%
<b>FFLC 3</b>	9,23%	37,32%	<b>RJFLC3</b>	90,77%	80,51%
<b>FFLC 4</b>	8,39%	34,17%	<b>RJFLC4</b>	91,61%	80,12%
<b>FFLC 5</b>	13,91%	42,90%	<b>RJFLC5</b>	86,09%	82,52%
<b>FFLC 6</b>	7,81%	30,58%	<b>RJFLC6</b>	92,19%	78,33%

Fonte: Do Autor (2020)

#### 4.2.1 Resultados Flotado

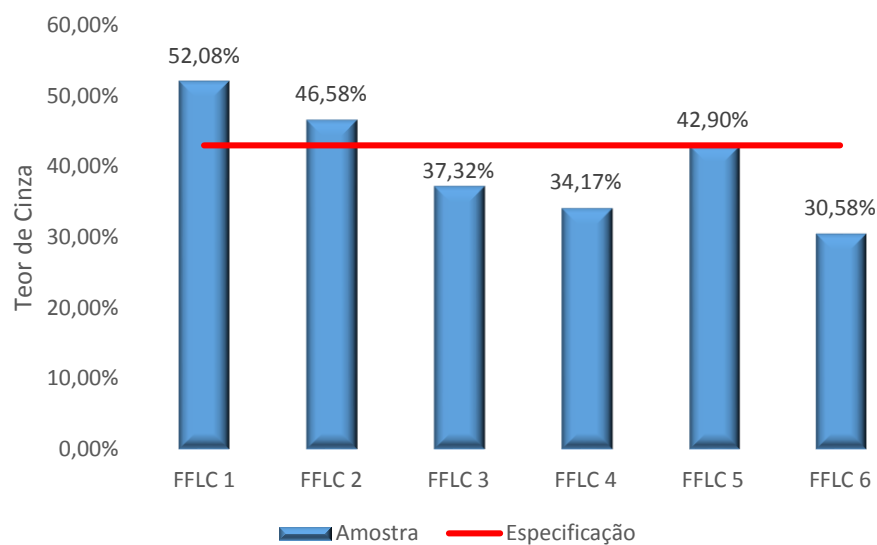
Observando as Figura 10 e 11 as amostras FFLC 1 e 2 apresentaram o maior rendimento em seu percentual de recuperação, mas entretanto os teores de cinzas se apresentaram superiores a especificação de mercado, em relação aos parâmetros variáveis conforme a Tabela 2 as amostras foram submetidas a mesma dosagem de reagentes entretanto a fluxo de ar diferente 200 cm<sup>3</sup>/s e 167 cm<sup>3</sup>/s.

Analisando os gráficos das figuras 10 e 11 as amostras FFLC 3 e FFLC 4 e aos parâmetros variáveis da Tabela 2, ambas amostras foram submetidas a mesma concentração de reagentes, porém a vazões de fluxo de ar diferente 133 cm<sup>3</sup>/s e 83 cm<sup>3</sup>/s. Observa-se que para mesma concentração de reagentes mas entretanto a submissão de diferentes vazões de ar, os resultados de recuperação e teores de cinzas se apresentam de forma diferente. Enquanto a amostra FFLC 3, submetida a um regime mais turbulento de ar obteve maior recuperação e também apresentou um aumento no seu teor de cinza, conseqüentemente a amostra FFLC 4 com o regime do fluxo de ar menos turbulento obteve resultados de cinza e recuperação mais baixos. Analisando a Figura 10 ambas amostras atendem a especificação do mercado consumidor.

A amostra FFLC 6 foi submetida apenas ao reagente espumante e ao menor fluxo de ar comparada com as demais amostras conforme a tabela 2, em consequência foi a amostra com o menor rendimento de recuperação conforme a Figura 11 e obteve o menor teor de cinzas 12,42% abaixo da especificação conforme apresentado na Figura 10.

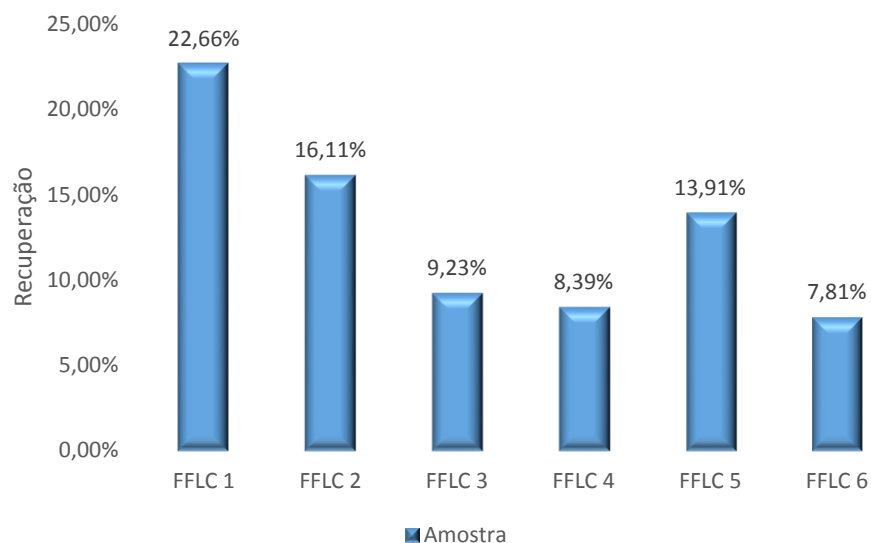
Observando os gráficos das figura 10 e 11, a amostra FFLC 5 é amostra que mais se aproximou da especificação de mercado, em consequência é a amostra com o melhor teor de recuperação das amostras que atendem a especificação do mercado consumidor. Analisando a Tabela 2 a amostra não foi submetida ao reagente coletor apenas ao reagente espumante indicando a característica natural de hidrofobicidade do carvão de interesse.

**Figura 10:** Resultados de Cinza Material Flotado.



Fonte: Do Autor (2020)

**Figura 11:** Resultados de Recuperação do Material Flotado.



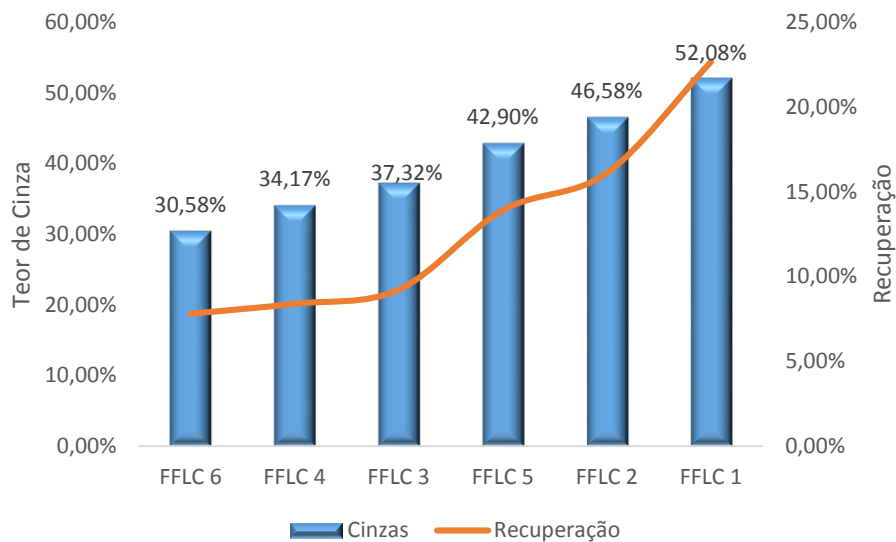
Fonte: Do Autor (2020)



#### 4.2.2 Relação da Recuperação x Teor de Cinza

Analisando o gráfico da figura 12 é visível a estreita relação da recuperação com o teor de cinza. Conforme se eleva a recuperação do produto, em consequência também aumenta o teor de cinza.

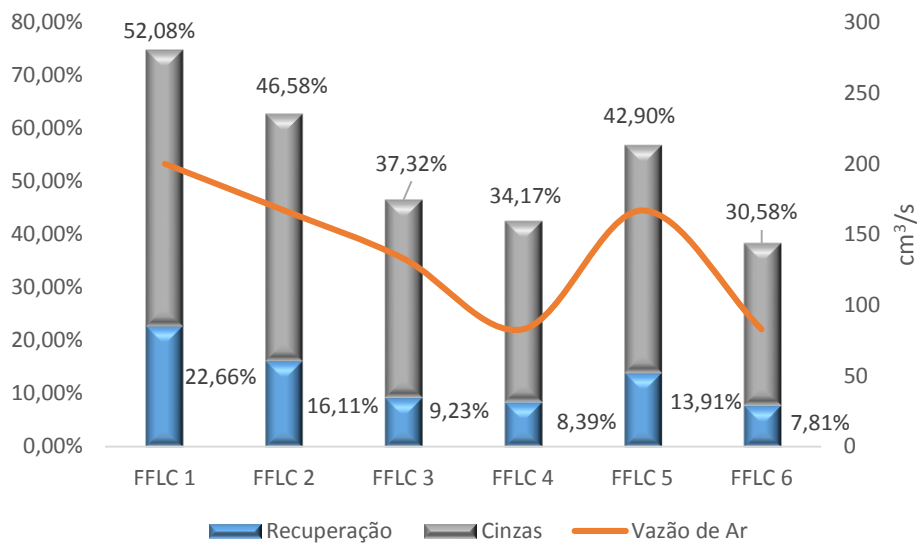
**Figura 12:** Resultados de Recuperação x Cinza



Fonte: Do Autor (2020)

#### 4.2.3 Relação entre o fluxo de ar x cinza/recuperação

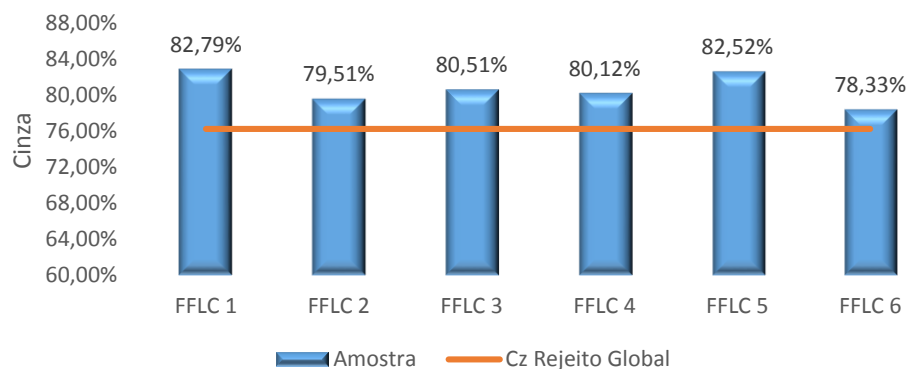
Observando o gráfico da figura 13, a relação do fluxo de ar está estritamente ligada ao teor de cinza e recuperação, sendo que a dispersão de ar e a estabilidade das bolhas que iram garantir os melhores resultados de recuperação e cinza.

**Figura 13: Relação entre vazão de ar x cinza/recuperação.**


Fonte: Do Autor (2020)

#### 4.2.4 Resultados Rejeito

Verificando o gráfico da Figura 14 em relação aos resultados do rejeito obtido com o teste de flotação em coluna por batelada, todas as amostras obtiveram o aumento no seu teor de cinza comparada com a cinza inicial de 76,25% do rejeito espessado e filtrado. E a amostra FLC 5 das amostras que atendem a especificação de mercado, foi a que obteve o maior teor de cinza em seu rejeito, comprovando que seus parâmetros variáveis são os mais adequados para o processo flotação em coluna.

**Figura 14: Teor de Cinza Rejeito Flotação**


Fonte: Do Autor (2020)

## 5 CONCLUSÕES

A flotação em coluna comprovou ser um processo muito promissor de beneficiamento mineral para enriquecimento de partículas finas do rejeito ultrafino de carvão, pois, permite que a quantidade de material carbonoso atualmente sendo descartado em depósitos de rejeitos, possam ser reutilizados como matéria prima associado ao carvão a granel.

Neste estudo, foi possível observar a forte influência do fluxo de ar nos resultados em que se deseja obter, em regimes mais turbulentos comprovasse que se obtém uma maior recuperação, entretanto como consequência de uma maior recuperação também se obtém um maior teor de cinza no carvão desejado. A concentração de carvão por meio da flotação em coluna mostrou-se eficaz, possibilitando a obtenção de um concentrado com teores de cinzas melhores que a especificação de mercado, sendo que este material possa ser utilizado através do método de blendagem nos lotes finais do produto.

A flotação em coluna pode ser utilizada tanto nas plantas de beneficiamento em operação, quanto para viabilizar o processo de recuperação dos depósitos de rejeitos ultrafinos já existentes na região Sul de Santa Catarina, rebeneficiando o carvão fino contida nas mesmas, reduzindo a área de recuperação e gerando receita.

## 6 ESTUDOS FUTUROS

Como proposta deve ser realizando mais ensaios e um estudo interlaboratorial para avaliar outras variáveis operacionais da coluna.

## REFERÊNCIAS

ABCM, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO CARVÃO MINERAL. **Os ciclos do carvão na região carbonífera de Santa Catarina Disponível em:** <[http://www.carvaomineral.com.br/interna\\_conteudo.php?i\\_subarea=8&i\\_area=4](http://www.carvaomineral.com.br/interna_conteudo.php?i_subarea=8&i_area=4) >. Acesso em: 13 de Abril 2020.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8289: Determinação do teor de cinzas.** Rio de Janeiro, 1983a. 4p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8292: Preparação de amostra de carvão mineral para análise e ensaios.** Rio de Janeiro, 1983e. 13p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8629: Carvão Mineral – Análise Granulométrica.** Rio de Janeiro, 1984e. 4p.

ARNOLD, BARBARA J. ET AL. **Designing the Coal Preparation Plant the Future,** Colorado, USA, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. (SME), 2007.

BENVINDO DA LUZ, ADÃO; ET AL. **Tratamento de Minérios.** 6. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2018.

CAPPONI, FABIANO; **Avanços na recuperação de finos de minérios pelo processo de flotação "extensora", o caso da mina de Chuquicamata,** Dissertação de Mestrado, UFRGS, 2005.

CHAVES, PINTO ARTHUR. **A flotação no Brasil.** 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

DIVISION, STATIONARY SOURCES BRANCH AIR POLLUTION CONTROL. **Coal Preparation Plants,** Colorado, 1999.

LASKOWSKI, JANUSZ S. **Coal Flotation and Fine Coal Utilization.** Coal Preparation. 2001.

NUNES DA SILVA, ÂNGELO QUINTILIANO. **Modelagem da relação teor-recuperação da célula de flotação pneumática.** Dissertação (Mestrado). Universidade federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

OLIVEIRA, M. L. M. DE; AQUINO, J.A. DE. **Aspectos Relevantes das Colunas de Flotação.** XXI ENTMMME, Natal, RN, 2006.

REDIVO, ROSIMERI VENÂNCIO. **Caracterização tecnológica do carvão das camadas barro branco e bonito para fins energéticos na região de criciúma – sc,** Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002.

RUIZ, ASTRID SOFIA; CHAVES, ARTHUR PINTO. **Flotação do carvão contido em um rejeito carbonoso,** REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, Minas gerais 2009

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus. Agradeço ao meu orientador Marcio Zanuz, por aceitar e conduzir o meu trabalho de pesquisa.

Ao meu coordenador André Luiz Amorim Smaniotto e a todos os meus professores do curso de Engenharia de Minas do Centro Universitário SATC pela excelência da qualidade técnica de cada um.

Aos meus pais Laercio Alceu Machado e Edna Constantino Machado que sempre estiveram ao meu lado me apoiando ao longo de toda a minha trajetória. À minha namorada Renata Dimis, pelo apoio demonstrado durante o período do projeto.

Também, estendo ao Engenheiro Fabiano Capponi e a todos os meus amigos que contribuíram de forma direta ou indireta para realização deste trabalho.