



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
UNIDADE ARAXÁ**

**LAÍS PEREIRA TRABALLI**

**UTILIZAÇÃO DE POLÍMERO HIGROSCÓPICO EM UM MINÉRIO  
DE ALTA UMIDADE E SUA INFLUÊNCIA NA FLOTAÇÃO**

**ARAXÁ/MG**

**2017**

**LAÍS PEREIRA TRABALLI**

**UTILIZAÇÃO DE POLÍMERO HIGROSCÓPICO EM UM MINÉRIO  
DE ALTA UMIDADE E SUA INFLUÊNCIA NA FLOTAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Minas, do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Minas.

Orientador: Prof. Me. Douglas Geraldo Magalhães

**ARAXÁ/MG**

**2017**

FOLHA DE APROVAÇÃO

LAÍS PEREIRA TRABALLI

**UTILIZAÇÃO DE POLÍMERO HIGROSCÓPICO EM UM MINÉRIO  
DE ALTA UMIDADE E SUA INFLUÊNCIA NA FLOTAÇÃO.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Minas do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Minas.

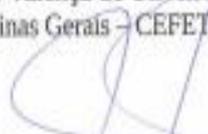
Araxá, 22 de julho de 2017.



**Presidente e Orientador: Douglas Geraldo Magalhães**  
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG – Unidade Araxá



**Membro Titular: Felipe Valença de Oliveira**  
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG – Unidade Araxá



**Membro Titular: Álvaro Francisco de Brito Júnior**  
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG – Unidade Araxá

## DEDICATÓRIA

*A minha mãe, que com amor e sabedoria  
me mostrou o caminho da honestidade e persistência.*

*Aos meus avós que sempre me apoiaram e  
estiveram ao meu lado em todos os momentos  
de dificuldade e alegria.*

*Ao Gustavo, meu exemplo de disciplina, e incentivo  
constante de crescimento.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela oportunidade de estudo, e por sempre me fazer mais forte nas horas difíceis longe da minha família.

Agradeço ao CEFET Unidade Araxá e todos seus funcionários pelo ensino público e de qualidade.

Agradeço ao Francisco Testa pelo apoio no estágio e por me auxiliar no trabalho de conclusão de curso.

Agradeço aos meus colegas pela companhia durante essa caminhada e também pelas experiências vividas.

Agradeço ao Protecnic e as coordenadoras Laura e Waldirene pela oportunidade de participar desse projeto único e construtivo.

Agradeço aos funcionários da Biblioteca que sempre me apoiaram e fizeram dos meus dias mais animados e menos exaustivos, em especial o Manoel, Iris e Gleisa.

Agradeço a todos os professores por compartilharem seus conhecimentos comigo, pela paciência e também pelo apoio constante, em especial ao professor Leandro Santos e Douglas Magalhães.

E agradeço também aos professores Felipe Valença e Álvaro Brito por aceitarem o convite e serem membros da banca de apresentação.

## EPÍGRAFE

*“Entrega o teu caminho ao Senhor; confia nele, e ele o fará.”*

*Salmo 37:5*

## RESUMO

Amostra do minério utilizado no trabalho é proveniente do Complexo Carbonatítico do Barreiro, o qual possui como principal característica a fácil extração e cominuição, pois se trata de um minério friável, ou seja, se fragmenta facilmente. Assim, esse material possui baixa coesão entre as partículas, e ao entrar em contato com a água se torna altamente fluido. Em períodos de chuva esse minério enfrenta dificuldades em ser transportado, pois escoam através das correias transportadoras, que é seu principal meio de deslocamento da mina até a indústria de beneficiamento, causando prejuízos na produção. Devido ao uso já existente de polímeros para agregação de partículas e formação de flocos, o presente estudo teve por objetivo testar um polímero higroscópico que é capaz de absorver a umidade, no material a ser transportado, a fim de aumentar a coesão entre as partículas e aumentar sua viscosidade. Como a principal etapa do processo de beneficiamento desse material é a flotação, testou-se também qual influencia o polímero exerceria nesse processo. Após a realização dos testes de abatimento, de escoamento na correia de bancada e ensaios de flotação, foi possível concluir que o polímero utilizado foi eficaz para redução do escoamento durante o transporte, e não apresentou influencia significativa na recuperação metalúrgica durante a flotação. Sendo assim, a aplicação do seu uso em escala industrial pode ser indicada como solução para as dificuldades de transporte de um material com alta umidade.

**Palavras-chave: Friável; Polímero; Escoamento; Flotação.**

## **ABSTRACT**

Sample of the ore used in the work comes from the Carbonate Complex of Barreiro, which has as main characteristic the easy extraction and comminution, because it is a friable ore, that is, it fragments easily. Thus, this material has low cohesion between the particles, and when it comes into contact with water it becomes highly fluid. In rainy periods this ore is difficult to transport because it flows through the conveyor belts, which is its main means of transport from the mine to the beneficiation industry, causing losses in production. Due to the existing use of polymers for particle aggregation and flaking, the present study aimed to test a hygroscopic polymer that is able to absorb moisture in the material to be conveyed in order to increase the cohesion between the particles and increase its viscosity. As the main step in the process of beneficiation of this material is flotation, it was also tested which influence the polymer would exert in this process. After the tests of abatement, bench runoff and flotation tests, it was possible to conclude that the polymer used was effective to reduce the flow during transport, and did not have a significant influence on metallurgical recovery during flotation. Thus, the application of its use on an industrial scale can be indicated as a solution to the difficulties of transporting a material with high humidity.

**Keywords: Friable; Polymer; Flow; Flotation.**

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Material de alta umidade sendo transportado. ....	3
Figura 2-Mapa Geológico do Complexo Carbonatítico do Barreiro. ....	5
Figura 3-Componentes da correia transportadora. ....	8
Figura 4- Teste de abatimento com cone. ....	9
Figura 5- Representação esquemática do teste de abatimento utilizando-se um cilindro. ....	10
Figura 6- Formação de caudas, laços e na interface partícula/solução. ....	13
Figura 7-Estrutura molecular Favor 3050. ....	15
Figura 8-Polímero em presença de água. ....	15
Figura 9- Fluxograma elaborado para os testes. ....	18
Figura 10-Pilha alongada formada sobre a bancada do laboratório. ....	19
Figura 11- Ilustração do quarteamento manual. ....	20
Figura 12- Projeto de um dosador no início da correia transportadora. ....	21
Figura 13- Ilustração do teste de abatimento. ....	22
Figura 14- Correia de bancada. ....	23
Figura 15-Peneiramento da amostra. ....	24
Figura 16-Fração retida do peneiramento moída. ....	25
Figura 17-Magnetita sendo retirada da amostra. ....	26
Figura 18-Flotação da amostra do teste do polímero. ....	26
Figura 19-Amostra sem polímero a 20% de umidade. ....	27
Figura 20 - Amostra sem polímero a 25% de umidade. ....	28
Figura 21 - Amostra com polímero a 25% de umidade. ....	28
Figura 22 - Amostra sem polímero a 30% de umidade. ....	29
Figura 23 - Amostra com polímero a 30% de umidade. ....	29
Figura 24-Amostra seca disposta na correia de bancada. ....	30
Figura 25- a) Material sem polímero com 30% de umidade; b) material com 30% de umidade e com polímero, c) material com 40% de umidade e com polímero. ....	31

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Teste de abatimento com cone .....	30
Tabela 2- Análise granulométrica.....	32
Tabela 3- Resultados da flotação teste branco (padrão) .....	32
Tabela 4- Flotação do teste 1 com polímero flotada de imediato.....	33
Tabela 5- Flotação do teste 2 com repouso de cinco dias .....	34

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>2</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1. Geologia de Araxá .....</b>	<b>4</b>
2.1.1. Minério Primário (rocha sã) .....	5
<b>2.2. Método de lavra do minério estudado .....</b>	<b>6</b>
<b>2.3. Correias transportadoras .....</b>	<b>6</b>
<b>2.4. Teste de abatimento.....</b>	<b>9</b>
<b>2.5. Flocculação.....</b>	<b>11</b>
<b>2.6. Floclulantes.....</b>	<b>14</b>
<b>2.7. Flotação .....</b>	<b>16</b>
<b>3. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS.....</b>	<b>18</b>
<b>3.1. Metodologia.....</b>	<b>18</b>
<b>3.3. Teste de escoamento na correia de bancada .....</b>	<b>23</b>
3.4. Ensaios de flotação em bancada .....	24
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>27</b>
<b>4.1. Teste de abatimento.....</b>	<b>27</b>
<b>4.2. Teste com a correia de bancada .....</b>	<b>30</b>
<b>4.3. Teste de flotação .....</b>	<b>31</b>
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>35</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>36</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Situado cerca de 6 km ao sul da cidade homônima, o complexo de Araxá também conhecido como Barreiro, é um dos mais importantes complexos alcalino-carbonatíticos do mundo, contendo expressivos recursos minerais.

O intemperismo tropical predominante na região e os padrões de drenagem centrípeta desenvolvida a partir de encaixantes mais resistentes resultaram no desenvolvimento de uma cobertura de solo muito espessa na maioria dos complexos, favorecendo a concentração econômica do fosfato e pirocloro tradicionalmente extraídos na região, além de concentrações de titânio ainda não aproveitadas economicamente.

A amostra do minério utilizado para este estudo encontra-se no complexo carbonatítico de Araxá, e devido à geologia da região e o local onde é extraído, é um minério altamente friável, ou seja, é um material de fácil fragmentação. As operações de lavra são desenvolvidas a céu aberto, sem a necessidade da ação de explosivos. Após lavrado, o minério é transportado via caminhões até as instalações de britagem, onde após essa etapa ele é homogeneizado e então enviado à usina de concentração através de correias transportadoras.

As correias transportadoras são mais utilizadas como solução para o transporte de materiais e produtos em longa distância, diminuindo custos com o serviço e o número de caminhões, gerando assim eficiência ecológica e econômica. Sua constituição é basicamente composta de carcaça e coberturas, sendo a carcaça o elemento de força e resistência para suportar a carga, tensões e outros desafios na movimentação dos materiais transportados.

Embora seja mais eficiente e econômica no transporte de materiais, se comparado aos caminhões, a correia pode ter seu desempenho comprometido por alguns fatores, como a chuva por exemplo. Pois a presença de grande quantidade de água em materiais ditos friáveis pode diminuir sua viscosidade e provocar o escoamento ao longo da superfície da correia, dificultando o transporte e gerando grandes perdas financeiras na produção.

Foi observado que este problema está ocorrendo em uma das mineradoras da região de Araxá (Figura 1). Em épocas de chuvas intensas, no período de dezembro a março, o minério proveniente da mina está enfrentando dificuldades de transporte fazendo com que haja grandes perdas de material durante o trajeto, além de causar o entupimento de silos e o recobrimento de equipamentos próximo ao transporte por uma grande camada de material, necessitando assim longas paradas para sua limpeza e manutenção, o que afeta o abastecimento da Usina de Concentração e a produção.



Figura 1- Material de alta umidade sendo transportado.

Devido ao uso já existente de polímeros no beneficiamento mineral para aglomeração de partículas, diminuição de umidade e auxílio nas operações de separação sólido-líquido, o presente estudo teve por objetivo testar um polímero higroscópico no material a ser transportado, a fim de aumentar a coesão entre as partículas, e diminuir assim seu escoamento nas correias, facilitando seu transporte e evitando perdas.

Para testar o esse polímero foram realizados três testes, sendo que o primeiro foi o teste de abatimento, a fim de observar a consistência do minério e sua mobilidade nas superfícies em diferentes umidades.

Executaram-se também testes em uma correia transportadora em escala de bancada, com o mesmo material e inclinação da utilizada em escala industrial, para observar o comportamento do material variando as umidades.

E por fim foi realizado o teste flotação, para verificar se o polímero iria interferir na recuperação metalúrgica do minério de interesse.

O minério utilizado para os testes foi coletado na alimentação da correia transportadora, e o polímero utilizado foi o Favor 3050. As definições de umidades a serem testadas foram baseadas no histórico de umidades já registradas pela empresa.

Para os testes flotação preparou-se uma amostra branca, para servir como base comparativa para os futuros testes com polímero, ou seja, ela foi preparada sem nenhuma adição de flocculante.

Para as flotações com polímero preparou-se duas amostras, uma preparada no mesmo dia e outra preparada e deixada em contato com o polímero durante cinco dias, para observar se um maior tempo de contato causa alguma interferência.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nos tópicos a seguir será apresentado, de forma resumida, a geologia da região de Araxá, o método de lavra do minério estudado, o transporte feito por correias transportadoras, testes de abatimento e por fim a concentração feita via flotação.

### 2.1. Geologia de Araxá

O Grupo Ibiá, onde está alojado o Complexo Carbonatítico do Barreiro, é uma sequência metassedimentar pelítica estruturada na forma de ritmitos finos, depositada a partir da erosão de arcos magmáticos neoproterozóicos (SEER, 1995). Constitui-se predominantemente de micaxistos com quartzitos associados.

Complexo Carbonatítico do Barreiro é aproximadamente circular e apresenta um diâmetro de cerca de 4,5 quilômetros (Figura 2). Sua intrusão, ocorrida há 90 milhões de anos, arqueou rochas do Grupo Ibiá, notadamente micaxistos e gerou fraturas radiais e concêntricas nas rochas encaixantes. Na zona de contato, a fenitização manifestou-se sob forma de veios/vênulas, constituídos principalmente de anfibólio sódico, que preenchem fraturas em quartzitos da zona de contato. Alguns fenitos quartzo-feldspáticos são também encontrados. O Complexo Carbonatítico do Barreiro é formado por uma sequência de eventos intrusivos divididos em dois ciclos principais. A primeira fase culminou com o posicionamento de rochas ultramáficas (piroxenitos e peridotitos) nos metassedimentos proterozóicos. A segunda fase ocorreu ao longo de um ciclo intrusivo acompanhado de alteração metassomática, causada por fluídos ricos em álcalis gerados a partir de um magma carbonatítico originalmente alcalino (SILVA *et al.* 1979).

As principais mineralizações encontradas no complexo são nióbio na porção central, fosfato na porção nordeste, urânio e ETR (Elementos Terras Raras) na porção norte. Tais depósitos estão associados a materiais em processo de alteração, sendo concentrados por processo de enriquecimento supergênico (TORRES, 2009).

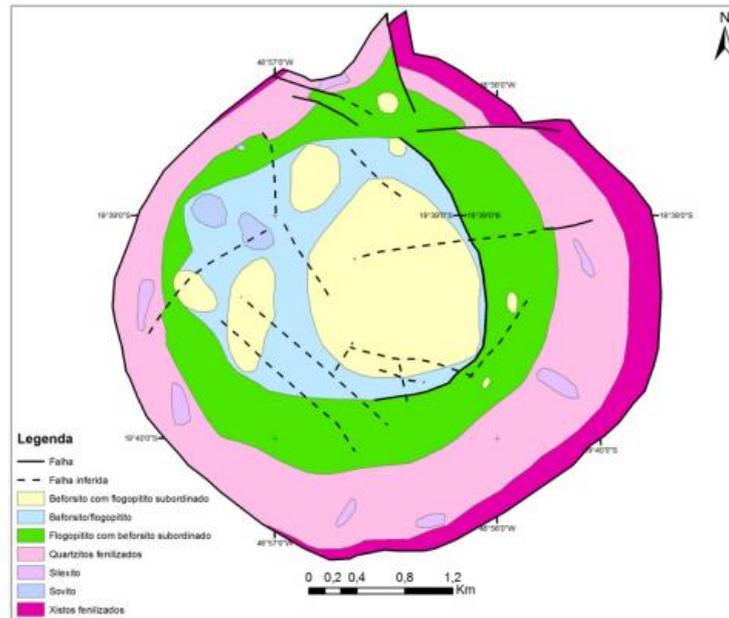


Figura 2-Mapa Geológico do Complexo Carbonatítico do Barreiro.

Fonte: Adaptação de SILVA *et al.* (1979).

O conjunto foi metamorfisado sob condições de fácies anfibolito há cerca de 630 Ma e foi intrudido por granitos com assinatura geoquímica colisional (SEER, 1999). Os anfibolitos são derivados de protólitos basálticos e gabróides. Os basaltos são similares a toleíitos de alto FeO, com ETR (Elementos de Terras Raras). As rochas metassedimentares provavelmente representam sedimentos depositados em águas marinhas profundas.

O Grupo Araxá, onde está alojado o Complexo Carbonatítico do Barreiro (Carbonatito da Alcalina de Araxá), constitui predominantemente sequências originais de rochas formadas por sedimentação de mar profundo e de plataforma continental, vulcanismo contemporâneo e suítes sin-orogênicas de rochas plutônicas, sendo o conjunto metamorfizado e deformado. Essa característica dificulta o estabelecimento da sucessão estratigráfica original.

#### 2.1.1. Minério Primário (rocha sã)

O complexo no qual se encontra o minério do estudo é predominantemente constituído de dolomita carbonatito, com calcita carbonatito e glimerito (rocha rica em flogopita) subordinados. As maiores concentrações desse minério no depósito são encontradas na porção central da estrutura. O minério primário contém carbonatos, flogopita, magnetita, apatita e pirocloro. Os glimeritos gerados por metassomatismo de piroxenitos/peridotitos, apresentam apenas localmente piroxênios e olivinas. O metassomatismo ocorreu associado ao estágio

alcalino carbonatítico da evolução magmática, envolvendo fluidos ricos em álcalis. Rochas coletadas a partir de testemunhos de sondagem em zonas brechadas do minério primário, evidenciam um processo de transformação do pirocloro, a partir das bordas e fraturas, com substituição de Ca e Na por Ba, sugerindo intensa ação de água meteórica.

O minério utilizado no estudo é friável, ou seja, necessita de pouco esforço, ou pouca pressão de britagem para ser cominuído, pois possuem baixa resistência, sendo assim tem um custo menor de remoção. Um minério mais compacto demanda maior esforço ou maior pressão para ser britado, isso influencia na razão de redução do britador. Minérios mais friáveis aceitam maiores razões de redução em um único estágio de cominuição enquanto minérios mais compactos tendem a alcançar a pressão máxima de britagem com menor razão de redução.

## **2.2. Método de lavra do minério estudado**

O método de lavra é a céu aberto, com bancadas de cerca de 10 metros de altura. Inicialmente executa-se a remoção do capeamento (constituído grande parte por argilas vermelha e amarela). Carregadeiras e caminhões realizam os trabalhos de remoção e transporte do capeamento até o bota-fora.

O minério e o estéril são bastante friáveis, sendo assim não é necessário o uso de explosivos para o desmonte. A lavra se dá por meio de escavadeiras, em seguida, o minério é transportado até o ponto de alimentação através de caminhões e levado por correias transportadoras até o pátio de homogeneização, onde são formadas as pilhas e posteriormente retomadas para alimentar a usina de concentração.

O minério é transportado até o ponto de alimentação por caminhões e o minério é levado por uma correia transportadora de 3,2 km até a unidade de concentração.

## **2.3. Correias transportadoras**

Correias transportadoras vêm sendo usadas para o transporte de materiais desde a segunda metade do século 17. Antigamente eram equipamentos muito simples, tratavam-se de um tablado de madeira e uma cinta feita de couro de animais, que escorregava por cima desse tablado. Nessa época, eles eram usados para o transporte de sacos de grãos. Com o desenvolvimento da tecnologia, as aplicações da correia transportadora foram ficando mais amplas. No ano de 1919, transportadores motorizados já eram utilizados na indústria automotiva. Mais tarde, por volta do ano 1930, a correia transportadora já era um meio popular para o transporte de materiais a granel. Minas de carvão já utilizavam esse método para

transportar material por mais de 8 km. Hoje, correias transportadoras são utilizadas em todo tipo de indústria, além de aeroportos, supermercados, devido à sua versatilidade e ao baixo custo.

As correias transportadoras detêm uma posição dominante no transporte de materiais devido às suas inerentes vantagens, como economia e segurança de operação, confiabilidade, versatilidade e enorme gama de capacidades. Utilizadas nos mais diversos segmentos de mercado, as correias transportadoras possuem características técnicas que permitem sua aplicação em sistemas de transporte e elevação de materiais de pequeno, médio e grande porte, dependendo de sua adequada configuração (ZHANG e XIA, 2011; FERDORKO *et al.*, 2013; ANDRIANOV e HORSSSEN, 2008).

No setor minero-metalúrgico, observa-se que as correias transportadoras constituem o meio mais difundido de transporte para grandes quantidades de materiais a granel, reduzindo desta forma, a quantidade de caminhões e o custo deste tipo de serviço.

O sistema é basicamente formado por uma correia sem fim, a qual é estendida entre dois tambores (acionamento e de retorno) principais e roletes justapostos, sobre os quais a correia desliza, com baixo atrito, possibilitando a movimentação de cargas pesadas (FERDOKO e IVANCO, 2012).

As correias possuem alguns fatores limitantes como a velocidade do transporte e a inclinação da correia. A velocidade da correia depende do material a ser transportado e a inclinação da correia pode ser usada, segundo alguns autores, entre 12° e 15° em relação ao plano horizontal. Recentemente, a conformidade com os requerimentos ambientais incentivou a seleção de correias transportadoras sobre outros meios de transporte (VANAMANE *et al.*, 2011; YOU e QING, 2008).

De acordo com Metso (2011), as correias para trabalhos pesados são côncavas a fim de evitar a perda de material no transporte, e quanto maior for à correia e mais elevada a velocidade, mais imediata será a ocorrência de avarias e mais elevados serão os custos.

Comparado com a utilização de caminhões e estradas de ferro para o transporte de materiais, o transporte através de correia é o mais viável economicamente a longo prazo. Caminhões possuem um custo elevado de manutenção e necessitam de motorista. Já a construção de uma estrada de ferro necessita de um investimento inicial altíssimo. A correia transportadora necessita de um investimento inicial alto, porém trabalha 24 horas por dia, 365 dias por ano sem necessitar de paradas, a não ser que seja para manutenções programadas, e sempre cheio de material, o que não acontece com as outras opções. Atualmente, com o

crescimento da construção civil e da necessidade do aço, o mercado da mineração tem crescido rapidamente e, com ele, o mercado de equipamentos com o melhor custo benefício, como correias transportadoras.

Baseando-se neste contexto e no custo energético empregado no processamento de minérios, torna-se de suma importância o desenvolvimento e a aplicação de métodos cada vez mais precisos para o projeto de correias transportadoras. Um mau projeto destes equipamentos pode causar, dentre outros danos, o acúmulo de sujeiras nas suas lonas que podem se espalhar ao longo do transportador, acumulando-se em roletes de retorno e entradas de *shoot* de descarga. Tudo isso provoca acidentes e travamentos da correia e uma parada imprevista para manutenção acarreta prejuízos na linha de produção (CHEN *et al.*, 2012; ZANOELO *et al.*, 2008).

Como ilustrado na Figura 3, a configuração de uma correia transportadora é simples.

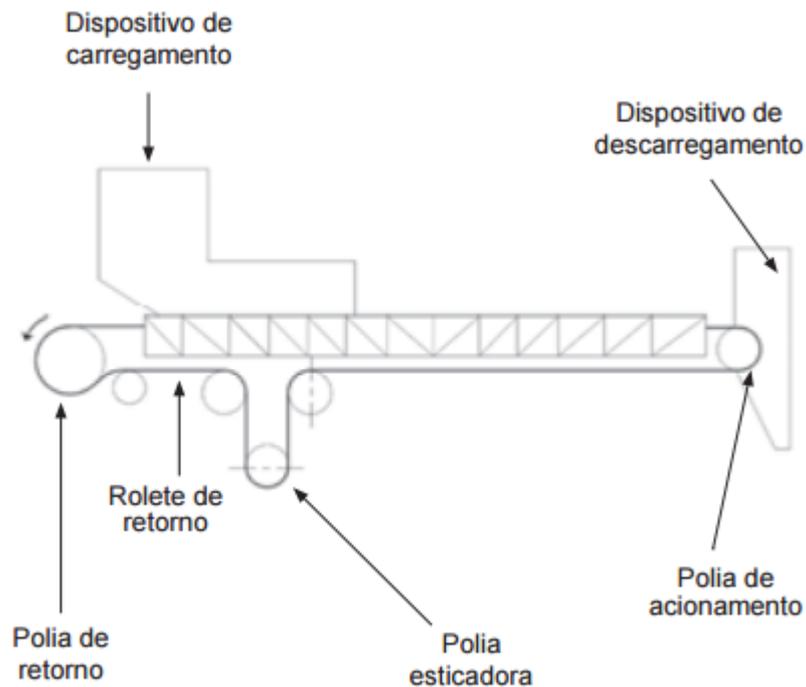


Figura 3-Componentes da correia transportadora.

No presente estudo, o transporte de minério entre a mina e a unidade de concentração é feito por uma correia transportadora de 3,2 quilômetros. Ela possui uma inclinação de 17,6°, é curva e sua cobertura é feita de borracha vulcanizada, a qual tem a função de proteger a carcaça de qualquer dano ou deterioração que podem ocorrer no ambiente de trabalho.

## 2.4. Teste de abatimento

De acordo com os estudos de Clayton, Grice e Boger (2003), o teste de abatimento foi idealizado para medir a consistência ou plasticidade de misturas de concreto, sendo normalizado pela norma ASTM a partir de 1998. Nesse teste é utilizado um cone, no qual é preenchido com concreto até completar integralmente o seu volume, ai mede-se a altura. Após a retirada do cone mede-se a altura final, que é chamada de abatimento ou *slump*, conforme demonstrado na Figura 4.

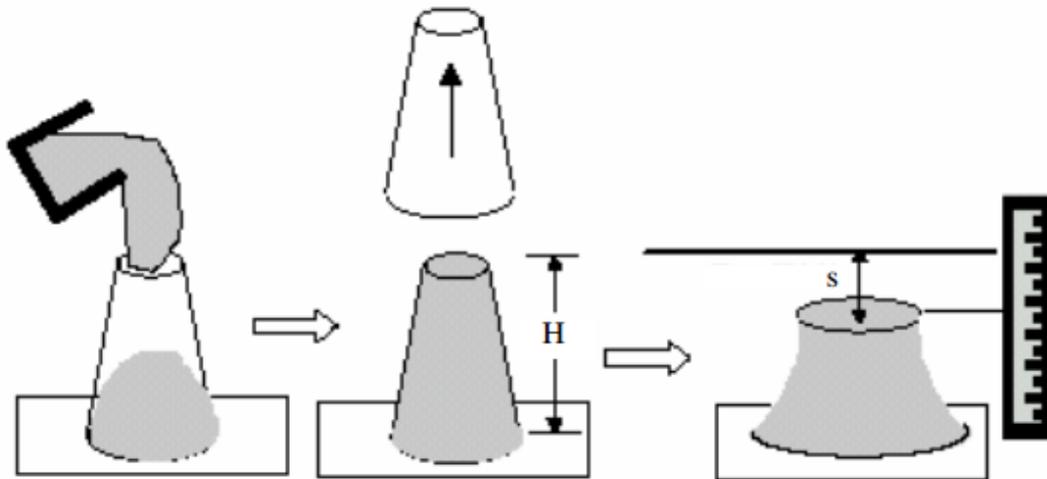


Figura 4- Teste de abatimento com cone.

Fonte: Clayton *et al.* (2003).

O teste de abatimento é usualmente utilizado para medir a consistência de fluidos inelásticos, incluindo-se suspensões de rejeitos minerais.

A altura de *slump* é usada como parâmetro de controle, para avaliar a consistência de uma pasta. Essa altura depende da tensão de escoamento quanto da densidade do material. No contexto mineiro, esses fatores poderiam variar com as mudanças da origem do minério ou mudanças em seu processamento. Como resultado, a utilização do teste de abatimento como único parâmetro para avaliação da consistência da pasta potencialmente pode não ser suficiente. Assim, de forma alternativa ao cone pode-se utilizar uma superfície cilíndrica, conforme a Figura 5.

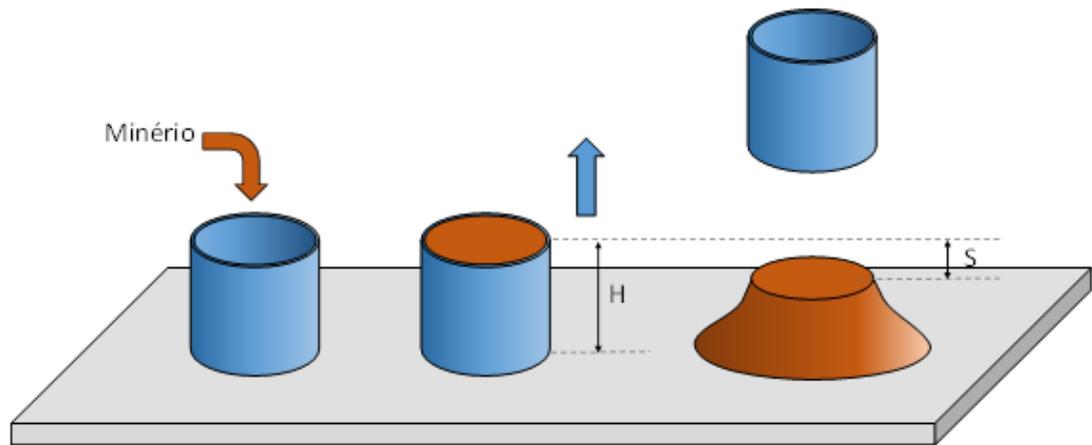


Figura 5- Representação esquemática do teste de abatimento utilizando-se um cilindro.

Para aplicações industriais, o teste do cilindro tem várias vantagens sobre o teste de cone *slump* (OSÓRIO 2005), sendo algumas delas as seguintes:

- Determinação mais precisa da tensão de escoamento, com respeito à simetria do cone;
- O modelo cilíndrico, matematicamente mais fácil para um modelamento;
- Maior facilidade para o enchimento com menor quantidade de bolhas de ar que podem afetar os resultados;
- A forma do material que passou pelo teste de *slump* é mais consistente, especialmente para valores elevados de tensão de escoamento;
- As medições do teste de cilindro de *slump* podem ser completadas usando uma secção do tubo, enquanto que as medições de cone só podem ser feitas com um cone manufaturado com um maior número de especificações.

Segundo Jung et al. (2002), utilizando testes de *slump* de acordo a norma ASTM C143, foram encontradas correlações consistentes entre os valores da altura de *slump* e os conteúdos de água das misturas ou pastas estudadas.

A partir do procedimento a determinação da porcentagem de abatimento (%ABT) pode ser calculada mediante a equação (1):

$$\%ABT = \frac{S}{H} * 100 \quad (1)$$

Onde:

S: é a diferença entre altura do cilindro e altura da pasta já ensaiada;

H: é a altura inicial do cilindro.

## 2.5.Floculação

Floculação pode ser descrita como a agregação causada por formação de pontes de ligação entre as moléculas de polímeros e partículas.

A floculação é caracterizada pela atuação de um polímero, necessariamente solúvel em água, denominado floculante, que promove a agregação de partículas finas em forma de flocos. Os polímeros podem ser classificados de acordo com sua origem, carga elétrica e peso molecular. Dessa forma, os floculantes podem ser: naturais, modificados ou sintéticos; neutros, aniônicos ou catiônicos e de baixo, médio ou elevado peso molecular (BALTAR, 2010).

A ação de um polímero de cadeia curta se dá na adsorção somente na área superficial, neutralizando as cargas negativas dessa área e, eventualmente, deixando um saldo de cargas positivas. Assim, a superfície das partículas passará a apresentar áreas carregadas positivamente, cercada de áreas de cargas negativas. Pode haver, então, a atração das áreas negativas de uma partícula com a área positiva de outras, fazendo com que elas se juntem, dando início a formação de um floco (BALTAR, 2010).

A floculação é um processo complexo cuja eficiência depende de alguns fatores, tais como:

- Escolha apropriada do floculante;
- Forma de aplicação;
- Ambiente químico;
- Sistema hidrodinâmico;
- Estado da molécula;
- Tamanho das partículas.

Os polímeros podem adsorver-se na superfície mineral por meio de alguns mecanismos, como:

a) **Ligações de Hidrogênio:** constitui-se no principal mecanismo de adsorção dos polímeros na superfície mineral. O átomo de hidrogênio possui pequeno tamanho e tendência a tornar-se polarizado positivamente. Em razão dessas características, pode interagir com átomos vizinhos eletronegativos promovendo a ligação. Uma molécula de poliacrilamida pode estabelecer ligações de hidrogênio por meio do grupo funcional

carbonila (C = O) em sítios eletropositivos da superfície mineral ou através do grupamento amida NH<sub>2</sub> em sítios eletronegativos (KOKSAL, *et al.*, 1990; MATHUR e MOUDGIL, 1997; MPOFU *et al.*, 2005). Na molécula do poli(óxido)etileno, a ligação de hidrogênio ocorre por meio do grupo éter (SAUER e YU, 1989; KOKSAL, *et al.*, 1990). As ligações de hidrogênio proporcionam interações que são individualmente frágeis (10-40 kJ.mol<sup>-1</sup>) se comparadas, por exemplo, com ligações covalentes com energia em torno de 500 kJ.mol<sup>-1</sup> (ROSE e JOHN, 1985). Essas interações são constantemente estabelecidas e desfeitas, em um processo contínuo. O tamanho da molécula do floculante garante uma grande quantidade de pontos de interação, tornando improvável a dessorção simultânea em todos os sítios. Isso significa que a adsorção é praticamente irreversível (HOLLANDER *et al.*, 1981). A energia de adsorção aumenta com o número de sítios de interação.

b) Interações Hidrofóbicas: a adsorção por interações hidrofóbicas ocorre através da cadeia hidrocarbônica do polímero e é sempre possível nos casos em que a superfície da partícula é naturalmente hidrofóbica ou foi hidrofobizada. O Poli(óxido-etileno) adsorve-se por meio do grupo etileno (- CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>-) em sítios hidrofóbicos da superfície mineral, como os do tipo siloxano (Si-O-Si) da sílica (MATHUR e MOUDGIL, 1997). Nos sistemas onde prevalece esse tipo de interação, a densidade de adsorção do polímero aumenta com a hidrofobização da superfície (BROSETA e MEDJAHED, 1995; BALTAR e OLIVEIRA, 1999).

c) Interações Eletrostáticas: ocorrem sempre que a superfície mineral e o polímero apresentam cargas contrárias e constitui-se na principal forma de adsorção dos floculantes catiônicos (KITCHENER, 1992). É evidente que esse mecanismo não pode ser considerado em sistemas com polímeros neutros, como nos casos da poli(acrilamida) e do poli(óxido)etileno. Em sistemas com a poli(acrilamida) hidrolisada (polímero aniônico), a adsorção por interação eletrostática tem uma importância secundária. Isso, porque o pré-requisito para a adsorção eletrostática é que a superfície mineral esteja abaixo do seu ponto de carga zero. Como, em geral, isso ocorre em meio bastante ácido, a poli(acrilamida) perde o seu caráter aniônico devido à hidrólise do grupo carboxílico (- COOH).

d) Ligações Químicas: a adsorção resulta de uma interação química entre grupos ativos da molécula do polímero e sítios metálicos disponíveis na superfície do mineral formando compostos insolúveis por meio de ligações covalentes ou iônicas (ATTIA, 1992). Essa forma de adsorção é específica e pode contribuir para uma floculação seletiva.

e) Ligações Coordenadas: os polímeros adsorvem-se na superfície mineral formando complexos ou quelatos (KRISHNAN e ATTIA, 1988). A molécula do poli(óxido)etileno pode formar complexos com íons como  $K^+$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e outras espécies presentes na superfície mineral (MATHUR e MOUDGIL, 1997).

Ao adsorver-se na superfície mineral, a molécula do polímero passa por um período de arranjo. O tempo necessário para a molécula atingir a sua conformação de equilíbrio é proporcional à densidade de adsorção. A conformação da molécula adsorvida, pouco a pouco, tende a tornar-se horizontal à medida que os pontos de fixação da cadeia do polímero na partícula vão sendo estabelecidos (MUHLE e DOMASCH, 1991). O rearranjo permite a adsorção adicional de outras moléculas do polímero, em uma sequência contínua de adsorção-arrumação-adsorção que pode tornar o tempo necessário para o equilíbrio bastante longo. Devido ao grande tamanho da molécula, na conformação de equilíbrio, em geral, apenas uma parte da molécula permanece em contato direto com a superfície, o restante estende-se em direção à fase líquida, formando pontos de contato (*trains*), alças (*loops*) e caudas (*tails*), conforme é ilustrado na Figura 6.

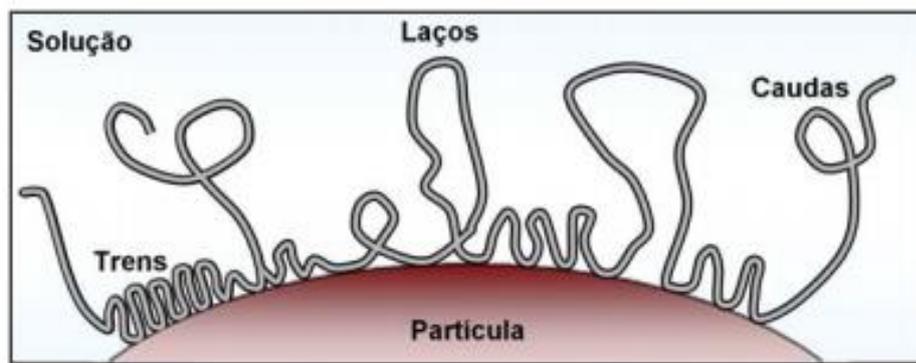


Figura 6- Formação de caudas, laços e na interface partícula/solução.

Fonte: Oliveira e Rubio (2011).

Deste modo, a conformação da molécula depende da afinidade do polímero pela superfície. De modo geral, os pontos de contato prevalecem em condições de grande afinidade como, por exemplo, nos casos de atração eletrostática (OTSUBO, 1994), dando origem a uma adsorção horizontal (*flat adsorption*), enquanto as alças e caudas prevalecem quando a molécula e a superfície possuem carga de mesmo sinal.

## 2.6.Floculantes

Os reagentes utilizados para promover a formação dos flocos são denominados floculantes. Em geral, são polímeros sintéticos que podem ser neutros ou iônicos, são solúveis em água e, em geral, apresentam peso molecular elevado.

Um polímero é uma macromolécula formada por vários segmentos unitários, denominados monômeros. Em sua composição pode haver monômeros iguais ou diferentes entre si, resultando na formação de homopolímeros ou copolímeros, respectivamente. Os polímeros podem ser neutros ou apresentar grupamentos ionizáveis. Nesse caso, são denominados polieletrólitos, que podem ser tratados de forma mais específica como poliânions ou policátions, dependendo da natureza da carga. A presença de segmentos ionizados provoca o estiramento da macromolécula devido à repulsão eletrostática resultante. A conformação esticada da molécula favorece a formação de flocos e acarreta um aumento na viscosidade da solução.

Os polieletrólitos, devido ao caráter hidrofílico de seus grupos iônicos, são mais solúveis em água do que seu correspondente não-iônico. O esforço no desenvolvimento tecnológico dos floculantes tem sido direcionado no sentido de produzir polímeros que, sem perder a solubilidade em água, possam apresentar moléculas cada vez maiores. Um polímero pode adsorver-se por meio de uma grande quantidade de pontos de contato. De acordo com Moss (1978), uma poliacrilamida, com peso molecular de 106, pode estabelecer até 15.000 ligações com uma superfície mineral. Ainda que individualmente essas ligações possam ser frágeis, o conjunto das interações torna a adsorção praticamente irreversível (KITCHENER, 1992).

Embora alguns polímeros naturais (polissacarídeos) ou modificados (carboximetilcelulose) tenham sido bastante utilizados no passado (MOODY, 1992), a partir da década de 60, essa prática foi gradualmente substituída pelo uso de polímeros sintéticos. Embora mais caros, os polímeros sintéticos apresentam uma série de vantagens com relação aos seus antecessores (KITCHENER, 1978), como por exemplo:

- I. Possibilidade de manipulação de sua estrutura. Devido ao fato de serem inteiramente desenvolvidos em laboratório, é possível modificar a sua estrutura de modo a moldar suas características no sentido de melhorar o desempenho;
- II. Composição química definida;
- III. Ampla disponibilidade (os naturais, eventualmente, podem apresentar limitações de natureza política ou climática);

IV. Maior estabilidade química e biológica.

Já as desvantagens estão relacionadas ao custo mais elevado (BOLTO, 1995), dificuldade de manuseio (ROGERS e POLING, 1978), fenômeno do “envelhecimento” da solução (VINCENT, 1974) e dificuldade de informações técnicas detalhadas sobre os produtos (BOLTO, 1995).

O polímero utilizado neste estudo foi o FAVOR Z 3050, que é um poliacrilato de sódio ligado de forma cruzada (figura 7).

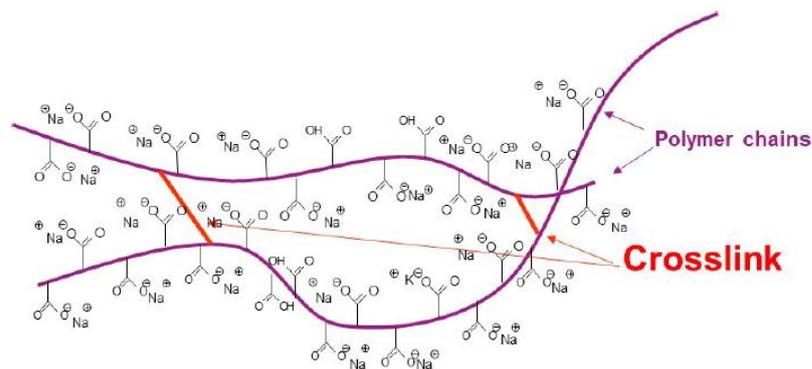


Figura 7-Estrutura molecular Favor 3050.

Fonte: Evonik (2016).

Ele possui densidade de  $0,7\text{g/cm}^3$  e densidade aparente de  $525\text{Kg/cm}^3$ ; é insolúvel em água e apresenta pressão de vapor  $<10\text{hPa}$  ( $20^\circ\text{C}$ ). Seu pH é aproximadamente 6,0 (1g/L), e sua decomposição acontece acima de  $200^\circ\text{C}$ .

O polímero em presença de água toma uma forma gelatinosa, encapsulando toda água presente no recipiente (Figura 8).



Figura 8-Polímero em presença de água.

## 2.7.Flotação

“Flotação é um processo de separação de partículas sólidas finamente moídas e que faz uso da diferença nas propriedades superficiais das mesmas” (BERALDO, 1981).

O processo de flotação existe há mais de cem anos e resultou das observações empíricas conduzidas em processos minerais com o intuito de se alcançar uma separação seletiva.

A flotação usada no processamento mineral é geralmente utilizada para recuperar apenas as espécies selecionadas, que são os minerais de alto valor agregado. A flotação se baseia na separação de partículas pela diferença de composição material entre as fases envolvidas através da submissão de suas superfícies seletivamente hidrofóbicas a adequados solventes.

Entende-se genericamente como “flotação” a flotação por espuma. Neste processo, partículas minerais imersas em meio líquido, usualmente em água, são separadas por um borbulhamento de ar que gera a separação grãos pelo seu grau de hidrofobicidade. Para que isso ocorra, são criadas condições favoráveis para aderência de bolhas de ar as partículas minerais desejados através da adição de determinados reagentes á polpa. Estes reagentes são classificados em três categorias principais: coletores, espumantes e moduladores (BERALDO, 1981).

Os coletores criam uma película na superfície da partícula mineral que se deseja flotar. Tal película aumenta o grau hidrofóbico do grão, facilitando assim sua aderência as bolhas de ar.

Os espumantes são compostos orgânicos que, ao serem adsorvidos na interface líquido/ar, aumentam a resistência e estabilidade da espuma melhorando, assim, as condições de adesão dos minerais coletados as bolhas de ar.

De acordo com Beraldo (1981), modificadores são reagentes utilizados para aumentar a eficiência e seletividade do processo, tais como:

- Reguladores de ph: ajustam o pH da polpa para uma melhor ação do coletor;
- Depressores: são seletivamente adsorvidos por minerais que não se deseja coletar, dificultando a flotação destes;
- Ativadores: reagentes que possibilitam ou melhoram a ação do coletor sobre o mineral que se deseja coletar.

Para que seja possível a flotação, é necessária antes, uma série de operações de cominuição que devem ser realizadas, são elas: britagem, moagem e peneiramento. Estas

operações de tratamento são essenciais e possuem como principal objetivo a redução do tamanho das partículas do material que foi lavrado, para atingir uma granulometria adequada e satisfatória. Com essas operações há um aumento do grau de liberação suficiente dos minerais que possibilita o posterior processo de flotação e sua recuperação.

### 3. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

#### 3.1. Metodologia

O desenvolvimento prático do trabalho foi realizado integralmente no laboratório de desenvolvimento e pesquisa da empresa mineradora que forneceu as amostras.

O trabalho proposto envolve a preparação de amostras para testes com e sem polímero. Os testes feitos foram de abatimento, testes de escoamento em correias de bancada e ensaios de flotação também em bancada. As análises químicas da flotação foram realizadas pelo laboratório químico da empresa. A Figura 9 ilustra o fluxograma esquemático das etapas.

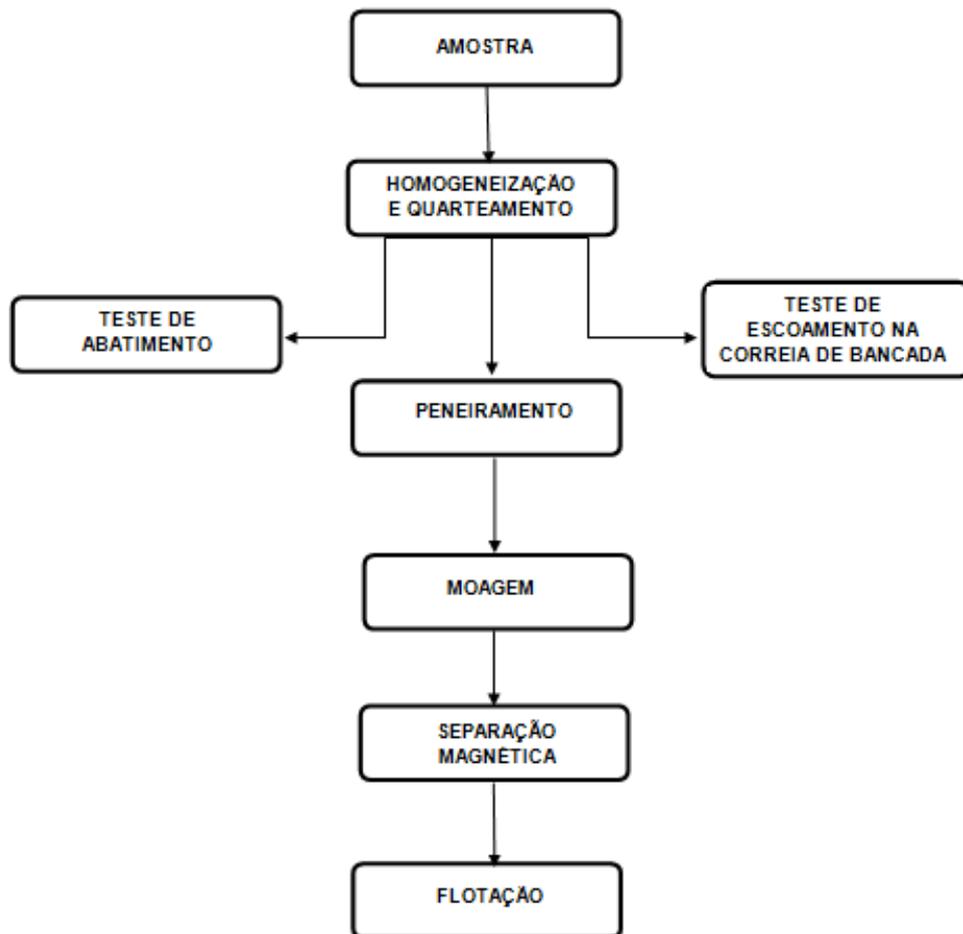


Figura 9- Fluxograma elaborado para os testes.

O minério amostrado é de pequena granulometria, e pouco resistente ao cisalhamento. Possui traços de elementos como o fósforo, alumínio, chumbo, ferro, silício entre outros.

A primeira etapa de homogeneização é através da confecção de uma pilha alongada na bancada do laboratório. A pilha deve ser distribuída de forma constante, da esquerda para a direita e depois da direita para a esquerda sem interrupções. Essa forma se dá para que os erros de segregação do material possam ser minimizados (Figura10).



Figura 10-Pilha alongada formada sobre a bancada do laboratório.

Após a confecção da pilha alongada é realizado o quarteamento manual, onde a pilha é dividida em 20 alíquotas iguais, com auxílio da régua metálica. O esquema é mostrado na Figura 11.

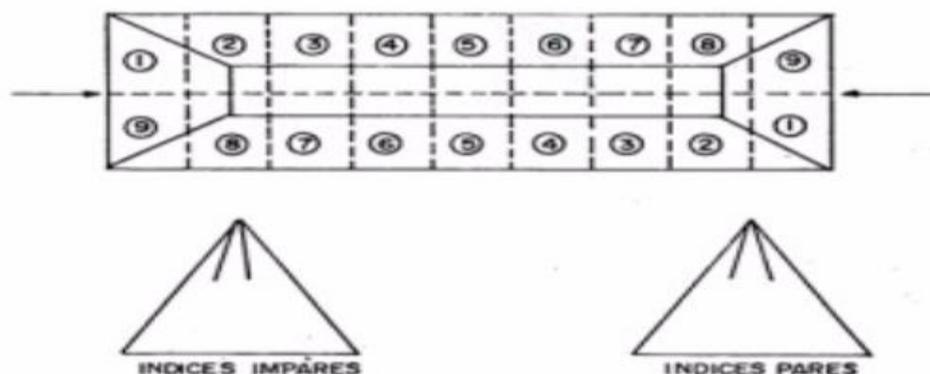


Figura 11- Ilustração do quartearamento manual.

Fonte: Oliveira (2012).

Após a homogeneização das amostras foram separadas alíquotas de 1,5 kg para os testes de abatimento, e amostras de 5 kg para os testes de escoamento na correia e flotação.

As dosagens de polímero (gramas por toneladas de minério) sugeridas pelo fabricante para serem usadas nos testes foram:

- 250 g/t;
- 350 g/t;
- 450 g/t; e
- 550 g/t.

A dosagem escolhida foi de 300g/t, pois devido a alguns testes mais simples realizados anteriormente com dosagem igual a 250g/t já se obteve bons resultados de acordo com o propósito requerido. Assim, testou-se a dosagem de 300g/t para casos ocorrências de maiores umidades, pois se com essa dosagem o polímero não interferir na flotação, qualquer valor abaixo também será aceito.

Quando se refere à escala industrial, a princípio pretende-se colocar o dosador do polímero logo no início da alimentação da correia, conforme a figura 12, assim quando as inclinações presentes no percurso começarem, ele já teria reagido com o material e diminuindo a umidade do mesmo, facilitando assim o seu transporte.

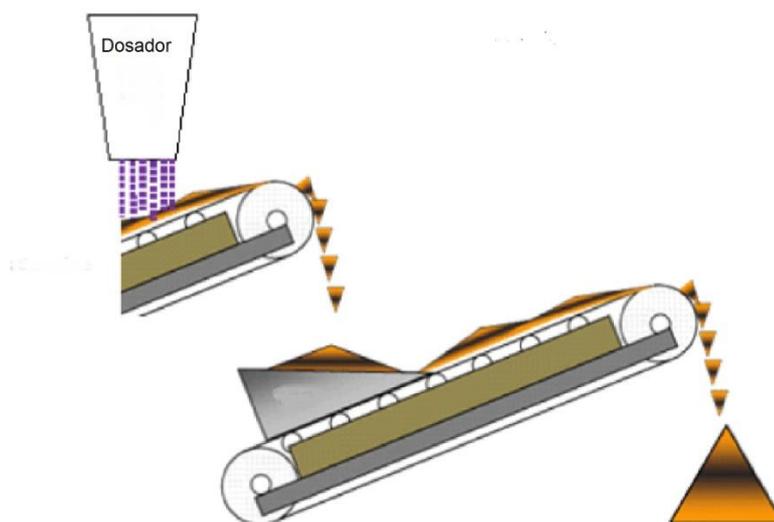


Figura 12- Projeto de um dosador no início da correia transportadora.

Como esse estudo é uma fase de pesquisa, os testes e o projeto do dosador foram feitos apenas para o conhecimento da atuação do polímero, sendo que, se houver êxito, posteriormente podem-se testar experimentos com diferentes dosagens, e colocar em prática a instalação do dosador de polímero.

### 3.2. Teste de abatimento

O teste de abatimento tem por finalidade analisar a consistência da pasta em condições de variadas umidades e observar se o polímero aumenta a coesividade entre as partículas de forma significativa. Os valores de umidade utilizados foram de 20, 25 e 30% para amostras com e sem polímero. Esses valores foram baseados em dados de umidades contidos no banco de dados da empresa, calculados no período de chuva.

O gráfico 1, ilustra o período de chuva utilizado como referencia pela empresa para o cálculo de umidade.

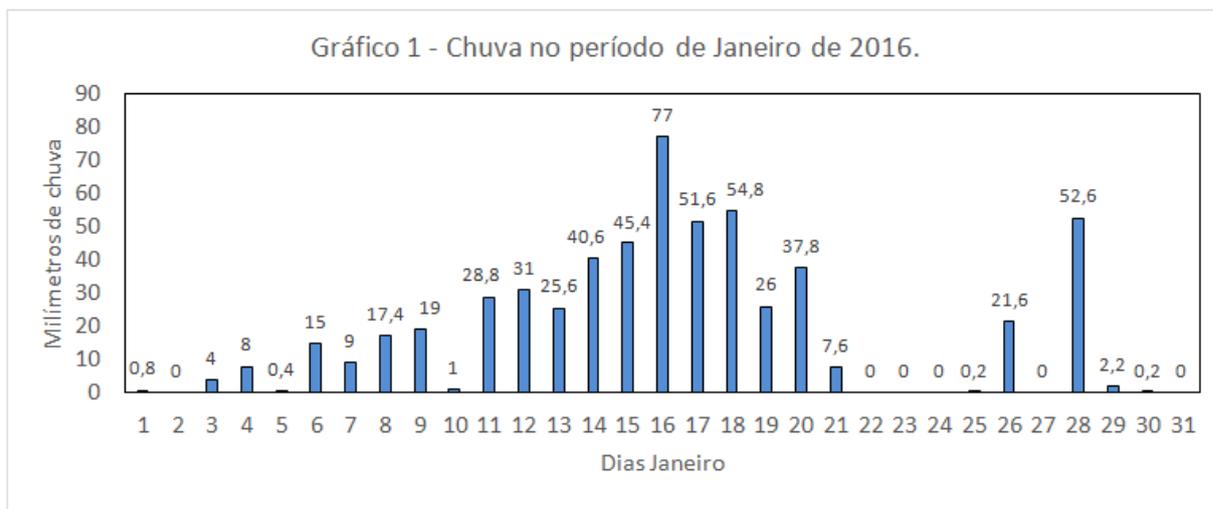


Gráfico 1-Percentual de chuva ao longo de todo mês de janeiro de 2016.

Para o teste de abatimento utilizou-se um cilindro de PVC de 9,5cm de diâmetro e 10 cm de altura, e amostras preparadas com 1,5 Kg de minério. A partir do procedimento a determinação da porcentagem de abatimento (%ABT) poderá ser calculada mediante a equação (1). O cilindro é colocado em uma superfície lisa (Figura 13), e em seguida é preenchido com todo material. Após o assentamento do minério o cilindro é retirado verticalmente para cima, enquanto se observa o comportamento do material, medindo assim sua altura e diâmetro inicial e final. O teste foi feito igualmente para todas as umidades.



Figura 13- Ilustração do teste de abatimento.

### 3.3. Teste de escoamento na correia de bancada

Para a realização dos testes foi levado em conta a maior inclinação da correia transportadora presente na mina que é  $17,6^\circ$ . Foi analisado também a composição da correia e seu formato, as características do material de alimentação e os problemas existentes no transporte. A partir dessas informações foi construída uma correia com escala reduzida para teste em bancada, com os mesmos materiais originais e com a inclinação real (Figura 14).



Figura 14- Correia de bancada.

O teste com a correia foi feito para simular o escoamento do material em diversas situações de umidade, e para verificar a atuação do polímero nessas condições.

Iniciou-se o teste com uma amostra, de aproximadamente 5kg, inicialmente foi utilizada uma amostra seca e posteriormente variando as umidades de 20, 25, 30 e 40%, esta última extrapolada para observar seu comportamento em casos de umidades atípicas e verificar a atuação do polímero.

### 3.4. Ensaio de flotação em bancada

Para os testes de flotação foram preparadas três amostras de 5 Kg, que antes foram devidamente preparadas através de processos como peneiramento, moagem e separação magnética. Por motivos de sigilo da empresa, não pode ser divulgado o nome dos coletores, antiespumantes e reagentes utilizados no teste de flotação.

Para iniciar os testes foi feito o peneiramento, com uma malha de 18(1,00mm) a 325# (0,044mm), para verificar a partição mássica do material e para o cálculo do teste global, conforme a Figura 15.



Figura 15-Peneiramento da amostra.

Após a análise granulométrica, foi preparada três amostras para a flotação. A primeira amostra foi denominada amostra branca, que serviu como padrão, já as outras duas foram preparadas com a proporção de 300g/t de polímero para a realização dos testes, onde uma foi

flotada de imediato e a outra permaneceu em contato com o polímero por cinco dias para depois ser flotada.

Peneiradas, as amostras maiores que 325# que ficaram retidas nas peneiras, chamadas de finos gerados (FG), foram moídas através de um moinho de bolas (Figura 15), para diminuir o tamanho dos grãos e torna-los aptos ao processo de flotação.



Figura 16-Fração retida do peneiramento moída.

Logo após a moagem, foi feita a separação magnética com o auxílio de um imã de mão, conforme a figura 17. Essa etapa consiste na retirada da magnetita da amostra, já que se trata de um minério ganga, ou seja, não possui valor econômico agregado.

Já os finos naturais (FN), partículas menores que 325#, foram separadas e não passaram pelos processos de moagem, já que seu tamanho está adequado ao processo de flotação, e nem pela separação magnética, pois nessa granulometria não há magnetita presente.



Figura 17-Magnetita sendo retirada da amostra.

Após os processos de preparação de amostras, as flotações foram realizadas com através de uma célula de flotação de escala laboratorial.

Para a flotação de todos as amostras foram utilizados reagentes, ácidos para o controle do pH e antiespumantes normalmente usados para a floração do minério de interesse( Figura 17), os nomes não puderam ser divulgados devido a exigência de sigilo da empresa.



Figura 18-Flotação da amostra do teste do polímero.

O mesmo procedimento por repetido para as três amostras em questão.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse capítulo estão apresentados os resultados dos testes mencionados anteriormente e suas respectivas discussões

### 4.1. Teste de abatimento

Como comprovado no teste, esse material escolhido para o estudo, com até 20% de umidade não apresenta fluidez e suas partículas se mantêm coesas umas as outras, assim não há a necessidade da utilização de polímeros, já que não há escoamento do material (Figura 19).



Figura 19-Amostra sem polímero a 20% de umidade.

À medida que se aumentou a umidade, foi possível observar comportamentos diferentes. Com uma umidade de 25% e sem o uso do polímero, o material apresentou-se menos viscoso escoando pela superfície, apresentando uma porcentagem de abatimento de 60% (Figura 20).

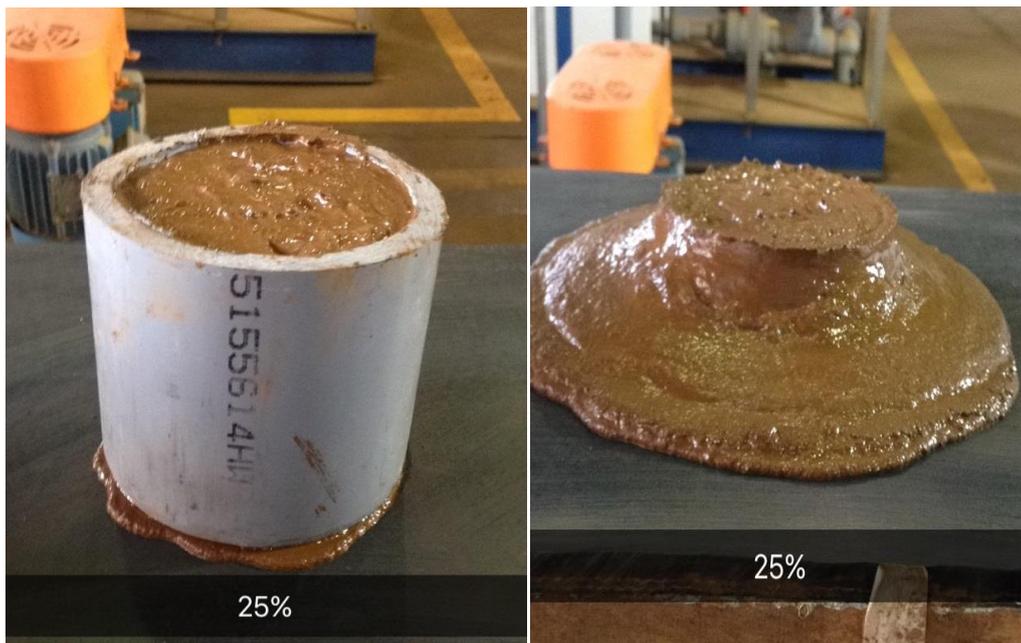


Figura 20 - Amostra sem polímero a 25% de umidade.

Já com a mesma umidade e utilizando agora o polímero, notou-se que o abatimento diminuiu para 10%, deixando o material mais coeso (Figura 21).



Figura 21 - Amostra com polímero a 25% de umidade.

Aumentando a umidade, agora com 30%, o material apresentou-se muito fluido, escoando por toda superfície (Figura 22).



Figura 22 - Amostra sem polímero a 30% de umidade.

Porém a porcentagem de abatimento com o uso do polímero (Figura 23) passou de 90% para 81%, ou seja, mesmo em altas umidades ele consegue aumentar a coesão entre as partículas, diminuindo o seu espalhamento nas superfícies.



Figura 23 - Amostra com polímero a 30% de umidade.

A tabela 1 mostra a % ABT para cada teste e as medidas resultantes de cada um.

Tabela 1- Teste de abatimento com cone.

<b>% Umidade</b>	<b>Polímero</b>	<b>hi</b>	<b>hf</b>	<b>di</b>	<b>df</b>	<b>%ABT</b>
20%	-	10 cm	10 cm	9,5cm	9,5cm	0%
25%	-	10 cm	04 cm	9,5 cm	21 cm	60%
	300g/t	10 cm	09 cm	9,5 cm	11,6 cm	10%
30%	-	10 cm	01 cm	9,5 cm	44,5 cm	90%
	300g/t	10 cm	1,9 cm	9,5 cm	25,5 cm	81%

Portanto, o polímero se mostrou eficaz, aumentando a viscosidade do material e diminuindo seu espalhamento.

#### 4.2. Teste com a correia de bancada

Com esse teste foi possível observar que o material seco habitual na indústria não escoava e tem seu transporte realizado com sucesso (Figura 24). Somente aumentando a umidade do material o transporte passa a ser comprometido.



Figura 24-Amostra seca disposta na correia de bancada.

Observou-se que o material sem polímero com umidade até 20% não apresenta escoamento. Mas quando extrapolada a umidade, o material perde sua coesão entre as partículas e fluidiza-se, escorrendo assim pela área da correia, como mostrado na figura 25. a)



Figura 25- a) Material sem polímero com 30% de umidade; b) material com 30% de umidade e com polímero, c) material com 40% de umidade e com polímero.

Já os testes com o polímero, foram possíveis observar que até 30% de umidade o material permanece com uma viscosidade alta, e não escoa. Extrapolando esses valores mesmo com a utilização do polímero, sua fluidez aumenta, e ele volta a escorregar pela correia. Como comprovado, o polímero foi eficaz em diminuir o escoamento, e se a umidade for aumentada como no caso extrapolado a 40%, aconselha-se a utilizar uma dosagem maior que 300g/t para que o objetivo de coesão seja alcançado.

### 4.3. Teste de flotação

A tabela 2 representa o resultado do peneiramento, onde a partir da análise granulométrica, observa-se que a amostra estudada possui 62% de sua massa de finos gerados e 38% de finos naturais. Ou seja, 62% da amostra necessita passar pelo processo de moagem para adequar o seu tamanho para o processo de flotação.

Tabela 2-Análise granulométrica.

Malha	Peso(g)	% de massa
+18#	275,97	11,2%
+40#	261,43	10,6%
+100#	426,22	17,3%
+200#	330,90	13,4%
+325#	234,69	9,5%
<325#	928,59	38%

Já tabela 3, apresenta o resultado da flotação para a amostra padrão, que serviu como base comparativa. A partir dela podemos observar alguns elementos que fazem parte da amostra analisada e a recuperação metalúrgica do minério de interesse.

Tabela 3 - Resultados da flotação teste branco (padrão).

PRODUTOS (FG)	PESO (G)	PESO (%)	MINÉRIO DE INTER. (%)	CONT.	DIST. (%)	PRODUTOS (FN)	PESO (G)	PESO (%)	MINÉRIO DE INTER. (%)	CONT.	DIST (%)		
CONC.CLR	16,2	2,10	56,9	1,19	68,5	CONC.CLR	30,4	4,93	58,6	2,89	78,3		
REJ.ROUG	700	90,73	0,59	0,54	30,8	REJ.ROUG	586	95,07	0,84	0,80	21,7		
REJ.MAG	55,4	7,18	0,17	0,01	0,7	REJ.MAG	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
TOTAL	772	100,00		1,74	100,0	TOTAL	617	100,00		3,69	100,0		
CONC	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P	Pb	SiO <sub>2</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CONC	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P	Pb	SiO <sub>2</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
	0,89	4,15	0,5	0,96	0,2	0,16		0,42	3,61	0,32	1,46	0,2	0,12
CONC GLOBAL	58,0												

A recuperação metalúrgica dos finos naturais, passantes do peneiramento, é em média 58,6 % com uma perda metalúrgica em torno de 0,84%. Já a recuperação metalúrgica dos finos gerados, parcela retida nas peneiras posteriormente moídas, é em média 56,9% com uma perda metalúrgica de 0,59%. Fazendo uma média tem-se uma concentração global dessa amostra com 58% de recuperação.

A tabela 4 apresenta o resultado da flotação 1 com polímero que foi flotada de imediato. A partir dela podemos observar que a recuperação metalúrgica dos finos naturais foi de 59,6%, com uma perda metalúrgica em torno de 0,74%. Já a recuperação metalúrgica dos finos gerados, foi de 54,1% com uma perda metalúrgica de 0,51%. Notou-se que não houve influencia significativa do polímero na recuperação, que os resultados permaneceram dentro do padrão estabelecido. Já a recuperação global ficou em média de 57,6%.

Tabela 4-Flotação do teste 1 com polímero flotada de imediato.

PRODUTOS (FG)	PESO (G)	PESO (%)	MINÉRIO DE INTER. (%)	CONT.	DIST. (%)	PRODUTOS (FN)	PESO (G)	PESO (%)	MINÉRIO DE INTER. (%)	CONT.	DIST (%)		
CONC.CLR	15,96	2,08	54,1	1,12	69,44	CONC.CLR	29,0	4,68	59,6	2,79	79,83		
REJ.ROUG	719,78	93,81	0,51	0,48	29,52	REJ.ROUG	589,9	95,31	0,74	0,70	20,16		
REJ.MAG	31,5	4,10	0,41	0,02	1,04	REJ.MAG	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
TOTAL	767,24	100,00	-	1,62	100,0	TOTAL	618,9	100,00	-	3,50	100,0		
CONC	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P	Pb	SiO <sub>2</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CONC	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P	Pb	SiO <sub>2</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
	1,23	7,07	0,7	0,91	0,23	0,15		0,41	2,89	0,31	1,49	0,17	0,13
CONC GLOBAL	57,6												

A tabela 5 apresenta o resultado da flotação 2 com polímero, flotada após cinco dias. A partir dela podemos observar que a recuperação metalúrgica dos finos naturais foi de 59,9%, com uma perda metalúrgica em torno de 0,95%. Já a recuperação metalúrgica dos finos gerados, foi de 58,3% com uma perda metalúrgica de 0,59%. A recuperação global ficou em torno de 59,36. Notou-se novamente que não houve influencia significativa do polímero na recuperação, que os resultados permaneceram dentro do padrão estabelecido.

Tabela 5-Flotação do teste 2 com repouso de cinco dias.

PRODUTOS (FG)	PESO (G)	PESO (%)	MINÉRIO DE INTER. (%)	CONT.	DIST. (%)	PRODUTOS (FN)	PESO (G)	PESO (%)	MINÉRIO DE INTER. (%)	CONT.	DIST (%)		
CONC.CLR	14,95	1,95	58,3	1,14	70,10	CONC.CLR	29,15	4,71	59,9	2,82	79,83		
REJ.ROUG	730,48	95,21	0,59	0,56	34,66	REJ.ROUG	579,12	93,57	0,95	0,89	20,17		
REJ.MAG	31,5	4,10	0,41	0,02	1,04	REJ.MAG	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
<b>TOTAL</b>	776,93	101,26	-	1,71	105,80	<b>TOTAL</b>	608,27	98,28	-	3,71	100,00		
CONC	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P	Pb	SiO <sub>2</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CONC	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P	Pb	SiO <sub>2</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
	0,70	3,80	0,42	1,06	0,25	0,16		0,45	2,83	0,26	1,45	0,25	0,12
<b>CONC GLOBAL</b>	<b>59,36</b>												

Portanto, como demonstrado no gráfico 2, o polímero não causou nenhuma interferência na flotação do minério, resultando até em uma maior recuperação no teste dois, o qual o polímero ficou em contato com a amostra durante cinco dias.

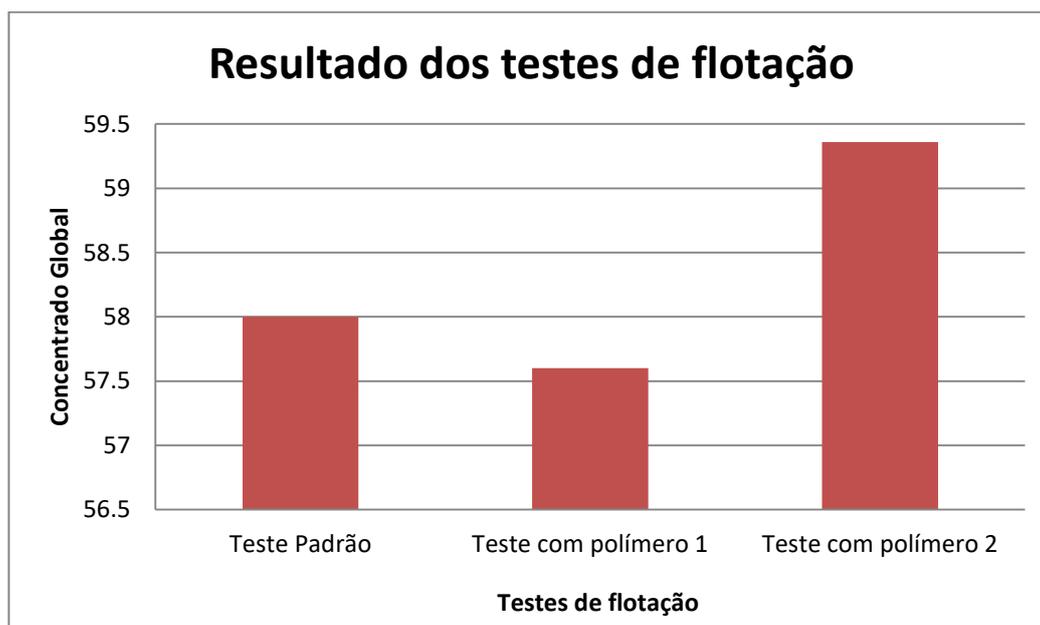


Gráfico 2- Resultado final dos testes de flotação.

## 5. CONCLUSÕES

Com base nos testes de abatimento foi possível notar que umidades superiores a 25% apresentam menor coesão entre as partículas e ficam mais suscetíveis ao escoamento. E que a utilização do polímero diminuiu de forma significativa a porcentagem de abatimento.

Nos testes de escoamento notou-se que o material *in natura* tem seu transporte feito sem problemas, e apenas quando as umidades são elevadas que ele se torna comprometido. Neste caso o uso do polímero obteve sucesso, diminuindo o escoamento do material, podendo melhorar o seu transporte até a usina de beneficiamento.

Nos ensaios de flotação é possível afirmar que o polímero Z 3050 na dosagem de 300 g/t adicionado a amostra antes da etapa de classificação não influencia no teste de flotação em bancada. Assim como o tempo de contato do polímero na polpa também não gera alterações, obtendo valores de recuperação metalúrgica, recuperação em massa e teor compatível com o teste padrão (Branco).

Baseado nos estudos e testes concluiu-se que o polímero encapsulador de água apresentou um ótimo desempenho no propósito requerido. Ele conseguiu aumentar a viscosidade do material que alimenta o silo, facilitando o seu transporte nas épocas de chuvas torrenciais, e não interferiu na etapa de flotação de bancada.

Portanto, como sugestão de trabalhos futuros, é fazer testes utilizando o polímero em escala de planta piloto para confirmação de suas propriedades e eficiência.

## REFERÊNCIAS

ANDRIANOV, I. V., HORSSSEN, W. T. **On the transversal vibrations of a conveyor belt: applicability of simplified models**, *Journal of Sound and Vibration*, v. 313, p. 822–829, 2008.

ATTIA, Y.A., 1992. **Flocculation**. In.: *Colloid Chemistry in Mineral Processing*. Laskowski, J.S.; Ralston, J. (eds.). Elsevier Science Publishers, Chapter 9, p. 277-308.

BALTAR, C.A.M., 2010. Livro Tratamento de Minérios, 5ª Edição – Capítulo 13 – pág. 559–594.

BALTAR, C.A.M.; OLIVEIRA, J.F., 1998. **Interação polímero-surfatante e seu efeito nas características dos flocos**. In.: Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, XVII, Anais. Águas de São Pedro-SP, 626-643.

BERALDO, J.L. **Concentração por flotação**, exemplar pré-edição, p. 105-106, 11 e 41, 1981.

BOLTO, B.A., 1995. **Soluble Polymers in Water Purification**, *Progress Polymer Science*, 20, 987-1041.

BROSETA, D., MEDJAHED, F., 1995. **Effects of Substrate Hydrophobicity on Polyacrylamide Adsorption**. *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 170, pp. 457-465.

CHEN, X.L., WHEELER, C.A., DONOHUE, T.J., MCLEAN, R., ROBERTS, A.W. **Evaluation of dust emissions from conveyor transfer chutes using experimental and CFD simulation**, *International Journal of Mineral Processing*, v. 110, p. 101-108, 2012

CLAYTON, S., GRICE, T. G., BOGER, D. V. **Analysis of the Slump Test for onsite Yield Stress Measurement of Mineral Suspensions**. *International Journal of Mineral Processing*, Melbourne – Australia, No. 70, Jun-2003, p. 3-21.

EVONIK. **Estrutura molecular Favor 3050**. 2016. Disponível em: <<http://www.creasorb.com/product/creasorb/en/Pages/default.aspx>>. Acesso: 10 Jan 2017.

FEDORKO, G., IVANCO, V. **Analysis of force ratios in conveyor belt of classic belt conveyor**, *Procedia Engineering*, v. 48, p. 123 – 128, 2012.

J.A Brod, S.A. Gibson, R.N. Thompson, T.C. Junqueira Brod., J.H. Seer, L.C. Moraes and G.R. Boaventura, “**The Kamafugite-Carbonatite association in the Alto Paranaíba Igneous Province (APIP)** - *Revista Brasileira de Geociências*

JUNG, S. J., BISWAS, K. **Review of Current High Density Paste Fill and its Technology**. *Mineral Resources Engineering*, Idaho – USA, Vol. 11, No. 2, Jun 2002, p. 165-182.

KITCHENER, J.A., 1992. **Minerals and Surfaces**. In: Laskowski, J.S., Ralston, J. (eds.), *Colloid Chemistry in Mineral Processing*, chapter 1, Amsterdam, The Netherlands, Elsevier Science Publishers

KOKSAL, E.; RAMACHANDRAN, R.; SOMASUNDARAN, P.; MALTESH, C., 1990. **Flocculation of oxides using Polyethylene Oxide**. Powder Technology, 62, 253-259.

KRISHNAN, S.V.; ATTIA, Y.A., 1988. **Polymeric Flocculants**. In.: Reagents in Mineral Technology. Somasundaran, P. and Moudgil, B.M. Marcel Dekker, Inc. New York, 485-518.

MATHUR, S.; MOUDGIL, B.M., 1997. **Adsorption mechanism(s) of poly(ethylene oxide) on oxide surfaces**. Journal of Colloid and Interface Science, 196, 92-98.

METSO. **Correias Transportadoras**. Disponível em: <<http://www.metso.com/miningandconstruction>>. Acessado em 21 de janeiro de 2017.

MPOFU, P., ADDAI-MENSAH, J., RALSTON, J., 2005. **Interfacial chemistry, particle interactions and improved dewatering behaviour of smectite clay dispersions**. International Journal of Mineral Processing, 75, 155-171.

MOODY, G., 1992. **The Use of Polyacrylamides in Mineral Processing**. Minerals Engineering, v. 5. n. 3-5, pp. 479-492.

MOSS, N., 1978. **Theory of Flocculation**, Mine and Quarry, vol. 7, no 5, pp. 57-61

MUHLE, K., DOMASCH, K., 1991. **Stability of Particle Aggregates in Flocculation with Polymers**, Chemical Engineering Processing, vol. 29, pp. 1-8.

OLIVEIRA, C., RODRIGUES, R.T. and RUBIO, J., **A new technique for characterizing arated flocs in a flocculation-microbubble flotation system**. International Journal of Mineral Processing, p. 36-44, 2011.

OLIVEIRA, M. dos S., SOUZA, M. D. **Tratamento de Minérios**. Araxá: CEFET-MG, 2012.

OTSUBO, Y., 1994. **Effect of Surfactant Adsorption on the Polymer Bridging and Rheological Properties of Suspensions**. Langmuir, vol. 10, pp. 1018-1022

ROSE, G.R., JOHN, M.R., 1985. **Flocculation**. In: Mark, H.F., Bikales, N.M., Overberger, C.G., Menges, G. (eds), Encyclopedia of Polymer Science and Engineering, 2 ed. New York, John Wiley & Sons.

SAUER, B.B; YU, H., 1989. **Macromolecules**, 22, 786-791.

SEER, H.J., 1999. **Evolução tectônica dos grupos Araxá, Ibiá e Canastra na Sinforma de Araxá, Minas Gerais**. Universidade de Brasília- Instituto de Geociências, Tese de Doutorado 28, 267 pp. <http://www.unb.br/ig/posg/dout/tese28/Capa.htm>

SEER, H.J., BROD, J.A., FUCK, R.A., PIMENTEL, M.M., BOAVENTURA, G.R., DARDENNE, M.A., 2001. **Grupo Araxá em sua área tipo: um fragmento de crosta oceânica neoproterozóica na faixa de dobramento Brasília**. Revista Brasileira de Geociências, vol. 31.

SILVA, A. B.; MARCHETTO, M.; SOUZA, O. M., **Geologia do Complexo Araxá (Barreiro) Carbonatite**. S.n.t. 17 p., 1979.

TORRES, M.G.; **Caracterização Mineralógica do Minério Fosfático da Mina da Arafertil S.A no Complexo Carbonatítico do Barreiro, Araxá-MG**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 1996.

TORRES, M.G. et al.; **Composição Química de Superfície e Nanotopografia da apatita proto-minério da Mina do Barreiro Araxá-MG**. II Simpósio Brasileiro de Metalogenia, Gramado, RS, 2009.

VANAMANE, S.S., MANE, P. A., INAMDAR K.H. **Introduction to belt conveyor system used for cooling of mould, National Conference on Recent Advances in Manufacturing Engineering and Technology**, Hyderabad, p. 104-108, 2011.

VINCENT, B., 1974. **The Effect of Adsorbed Polymers on Dispersion Stability**. Advances in Colloid and Interface Science, vol. 4, pp. 193-277.

YOU, -F. H., QING, -R. M. **Dynamic characteristics of conveyor belts**, J. China Univ Mining & Technol, v. 18, p. 0629–0633, 2008.

ZANOELO, E.F., ABITANTE, A., MELEIRO, L.A.C. **Dynamic modeling and feedback control for conveyors-belt dryers of mate leaves**, Journal of Food Engineering, v. 84, p. 458–468, 2008

ZHANG, S., XIA, X. **Modeling and energy efficiency optimization of belt conveyors**, Applied Energy, v. 88, p. 3061–3071, 2011.