

## Seletividade da amilopectina e amilose na flotação catiônica reversa do minério de ferro

Selectivity of amylopectin and amylose in the reverse cationic flotation of iron ore

Matos, S.S.de<sup>1</sup>; Alexandrino, J.S<sup>2</sup>; Ferreira, K.C<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Universidade do Estado de Minas Gerais João Monlevade, MG, Brasil.

### RESUMO

O experimento analisado neste estudo teve como objeto de pesquisa o comportamento da depressão da Amilopectina e Amilose, dois componentes predominantes no amido usado comumente na flotação reversa de minério de ferro na função de reagente depressor. A quebra de ligações químicas fortes do mineral durante a cominuição gera alguns fenômenos, como o carregamento da superfície, tornando possível a manipulação dos minerais na flotação e, consequente, a concentração do mineral de interesse. Foram realizados estudos de flotação em bancada com amostras de Itabirito silicoso de baixo Fósforo e Alumina da região de Congonhas-MG, sendo utilizado cada depressor individualmente, visando obter maior teor de Ferro com Amilose e maior recuperação de massa com Amilopectina. Foi também possível observar maiores valores de recuperação de massa e metalúrgica com o uso da Amilopectina. Entretanto, a Amilose não apresentou teores de Ferro significativamente maiores em relação à aplicação da Amilopectina. Foram utilizados os reagentes Wax Maize (aproximadamente 100% de Amilopectina) e Ziam Pó (80%-85% de Amilose) como fonte de Amilopectina e Amilose.

**Palavras-chave:** Flotação, Amilopectina, Amilose, Amido.

### ABSTRACT

In this experiment was studied the behavior of the amylopectin and amylose depression, two predominant components in the starch, commonly used in the reverse flotation of iron ore in the function of depressant reagent. The breaking of strong chemical bonds of the mineral during the cominuição generates some phenomena, like the loading of the surface, making possible the manipulation of the minerals in the flotation and consequent concentration of the mineral of interest. It was carried out flotation studies in a bench with samples of low phosphorus silicon itabirite and alumina from the Congonhas-MG region, using each depressant individually, in order to obtain a higher iron content with amylose and a greater mass recovery with amylopectin, it was possible to observe higher values of metallurgical and mass recovery with the use of amylopectin. However, the amylose did not present significantly higher iron contents in relation to amylopectin application. Was used the reagents Wax Maize (approximately 100% amylopectin) and Ziam Pow (80-85% amylose) as source of amylopectin and amylose.

**Keywords:** Flotation, Amylopectin, Amylose, Starch.

## 1. INTRODUÇÃO

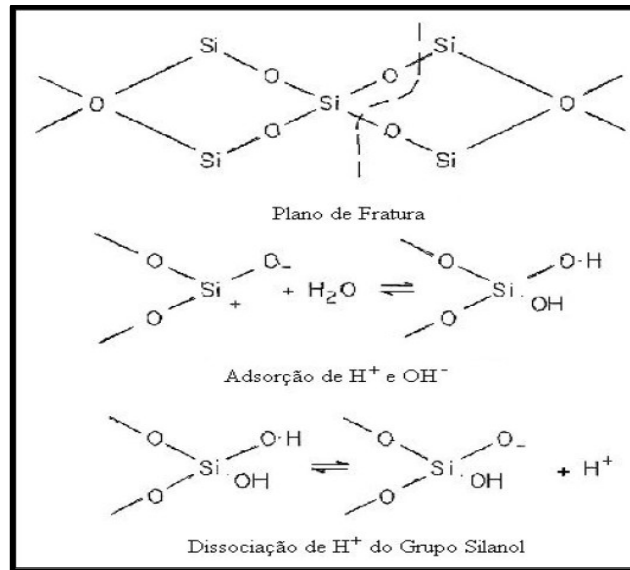
Com o passar dos anos os minérios a serem explorados estão cada vez mais pobres, como consequência, cria-se uma maior demanda para a utilização de métodos de concentração como a Flotação. O método em questão é muito visado, já que para a concentração do minério pobre (baixo teor), faz-se necessária uma maior cominuição para liberação do mineral, o que irá gerar finos. O processo mais flexível para essa situação atualmente é a Flotação, uma vez que é a única técnica versátil dentro do beneficiamento de minérios.

Greet et al. (2004) definiram a Flotação como um processo de separação entre partículas sólidas baseadas nas características das superfícies numa polpa e controlando a diferente hidrofobicidade dos minerais através de reagentes químicos. No livro *Tratamento de minérios*, Chaves, Filho e Braga (2010) denominam Flotação como um processo comum e de grande importância, em que, ainda em meio aquoso, os minerais hidrofobizados são aderidos às bolhas de ar e coletados no topo após formarem uma espuma, e os minerais hidrofílicos permanecem com a água sendo coletados posteriormente com o fluxo.

Dentre os reagentes necessários para a realização do processo de Flotação, destaca-se a utilização de depressores. Os depressores são compostos responsáveis por aumentar a interação entre a superfície do mineral desejado e as moléculas de água, eles irão tornar o material hidrofílico, fazendo com que o material seja depositado no fundo da célula ou coluna de Flotação. Em contrapartida, as substâncias hidrofóbicas irão aderir à bolha de ar, por serem apolares. Esses reagentes podem possuir características orgânicas, inorgânicas, naturais ou sintéticas (BALTAR, 2010).

Shaw (1975) apud Lopes (2009) estabelece que após o processo de moagem, as novas superfícies minerais formadas apresentam alta energia livre, resultantes do rompimento de ligações químicas, dissolução ou adsorção de componentes químicos, reações de hidrólise, adsorção de íons  $H^+$  e  $OH^-$  dentre outros. Devido às cargas formadas na superfície do mineral, ao ser inserido num meio aquoso (polar), modifica-se a distribuição de íons presentes na solução.

**Figura 1** – Mecanismo de geração de carga na superfície do quartzo



**Fonte:** Andrade, 2010.

As cargas da superfície atraem cargas opostas (contra-íons) por forças eletrostáticas e, por essa mesma razão, cargas de mesmo sinal (co-íons) são repelidas. Forma-se uma região de interface sólido-líquido determinada como Dupla Camada Elétrica (DCE). Todos esses fenômenos tornam possíveis as adsorções química e física de reagentes na superfície do mineral, tornando possível a manipulação da superfície e a Flotação de minérios (BALTAR, 2010).

Matos (2017) faz referência a alguns autores que tratam do tema antes de exemplificar a adsorção de Polissacarídeos na superfície mineral, são eles Pinto et al. (1992), Liu et al. (2000), Pavlovic e Brandão (2003), Filippov et al. (2013) e Aguiar (2014); em seguida, descreve cinco mecanismos distintos para a adsorção:

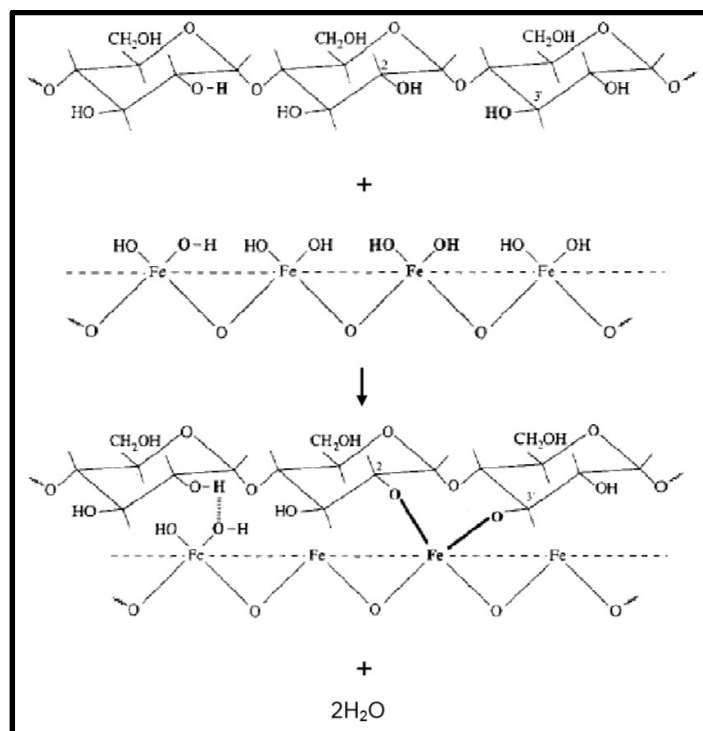
- Ligação de Hidrogênio:** interação entre grupos Hidroxila do mineral e do Amido, destacando que o efeito dessa ligação pode ser mais efetivo em Polímeros de médio e grande peso molecular.
- Interação eletrostática:** interação baseada na diferença de polaridade do Polímero e da superfície mineral.
- Adsorção química:** resultado da complexação entre os Íons metálicos presentes na superfície do mineral e os grupos polares do Polímero. Essa adsorção segundo o autor, é entendida como o principal mecanismo de adsorção entre a superfície do mineral e os Polissacarídeos.

- d) Formação de sais: Íons metálicos multivalentes atuando como uma ponte para adsorção do Polissacarídeo no mineral.
- e) Ligações hidrofóbicas: mecanismo exclusivo da adsorção da Dextrina em superfícies hidrofóbicas.

Turrer (2007) cita Balajee e Iwasaki (1969) e Lima (1997) ao afirmar que o Amido adsorve na superfície da Hematita por meio de ligações de Hidrogênio pelos grupos alcoólicos (COH); e também através da ligação do grupo Metanol com os grupos FeOH da superfície da Hematita, reforçando o item **a** supracitado.

Em concordância com os autores citados, os resultados espectroscópicos realizados por Weissenborn et al. (1996), que objetivaram propor um mecanismo de adsorção de Amido na Hematita, indicaram a formação de um complexo na superfície mineral, reforçando o item **c** supracitado. A Figura 2 ilustra esses dois tipos de ligações destacados para a adsorção do Amido na superfície da Hematita.

**Figura 2** – Esquema de reação para os mecanismos de complexação de superfície e ligação de Hidrogênio



**Fonte:** Weissenborn et al., 1996.

O trabalho em questão envolve estudos teóricos e experimentais dos dois componentes predominantes no Amido, visando um melhor conhecimento desses

compostos e sua aplicabilidade no produto final. Para tal, foi estudada a seletividade da Amilopectina e Amilose a partir da análise do teor de Ferro, Sílica e da densidade dos concentrados no processo. Além dos reagentes utilizados como fonte de Amilopectina e Amilose, foi utilizado também o Amido de Milho para fins comparativos.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

Todo preparo da amostra para os testes de Flotação foi realizado no laboratório da Unidade de João Monlevade da UEMG. Para a realização dos testes necessários, foram coletados incrementos. O material era grosseiro, sendo necessária sua completa cominuição, passando-o por britador, moagem, e recolhendo o material para os testes de Flotação classificando-o como <150mm no peneiramento a seco.

Após estas etapas foram realizadas a homogeneização, a deslamagem em balde de 65 litros com pH 10,5 controlado com solução de 5% de NaOH (10 minutos de espera para retirada do *overflow* e repetido o processo de deslamagem 6 vezes) e posterior secagem de todo material na estufa. Após a secagem, o material foi novamente homogeneizado e amostrado para conhecimento da análise química e densidade na alimentação da Flotação.

### **2.1 Ensaios de Flotação**

Foram realizados testes de Flotação com dosagens de 300, 400, 500, 600, 700 e 800 g/t para os reagentes Wax Maize e Ziam pó e testes com dosagens de 300, 400 e 500 g/t com Amido de Milho Maizena. Os ensaios de flotação foram realizados na máquina de Flotação modelo CDC.

Para todos os ensaios de Flotação foi adotado o seguinte padrão: a adição de 2 Kg do material e o complemento de 3,5 litros de água alcançando o limite da célula de 4 litros; adição do depressor com diluição em 1% e ajuste do pH em 10,5. Seis minutos e vinte segundos depois, adicionou-se coletor com diluição de 1% e, após um minuto, foi liberado o ar e iniciada a coleta durante 4 minutos. Após 2 minutos de coleta, foi adicionado água até se observar o início de transbordamento do líquido.

### **2.2 Reagentes**

Foram utilizados para os testes de Flotação:

- i) Wax Maize, suplemento composto apenas por Amido ceroso, usado com função de depressor, representando quase 100% de Amilopectina;
- ii) Ziam Pó, manipulado do Amido composto por 80-85% de Amilose segundo o fornecedor, usado para complemento de alimentação para o emagrecimento e como depressor nos testes de Flotação;
- iii) Maizena, Amido de Milho utilizado como depressor;
- iv) Eteramina, utilizada como função de coletor.

Todos os reagentes foram adicionados à cuba com diluição em 1% e razão 5:1 de depressor / NaOH na preparação dos reagentes depressores.

### 2.3 Picnometria

Foram realizados testes de Picnometria em todos os concentrados para a determinação da densidade com o auxílio de um Picnômetro de 50 ml (Figura 17). A partir dos resultados de densidade e recuperação em massa foi possível analisar a recuperação metalúrgica pela seguinte fórmula:

$$RM = \frac{D_c \times R_m}{D_a}$$

Além da recuperação em massa usando a fórmula:

$$R_m = \frac{M_c}{M_a} \times 100$$

Em que:

RM = recuperação metalúrgica

Rm = recuperação em massa

Dc = densidade do concentrado

Da = densidade da alimentação na máquina de flotação

Mc = massa do concentrado

Ma = massa da alimentação

Para determinação da densidade foi utilizada a seguinte fórmula:

$$D = \frac{m}{p_1 - p_2}$$

Em que:

D = densidade

$m$  = massa da amostra

$p1$  = massa do picnômetro + água

$p2$  = massa do picnômetro + amostra + água

## **2.4 Análise química**

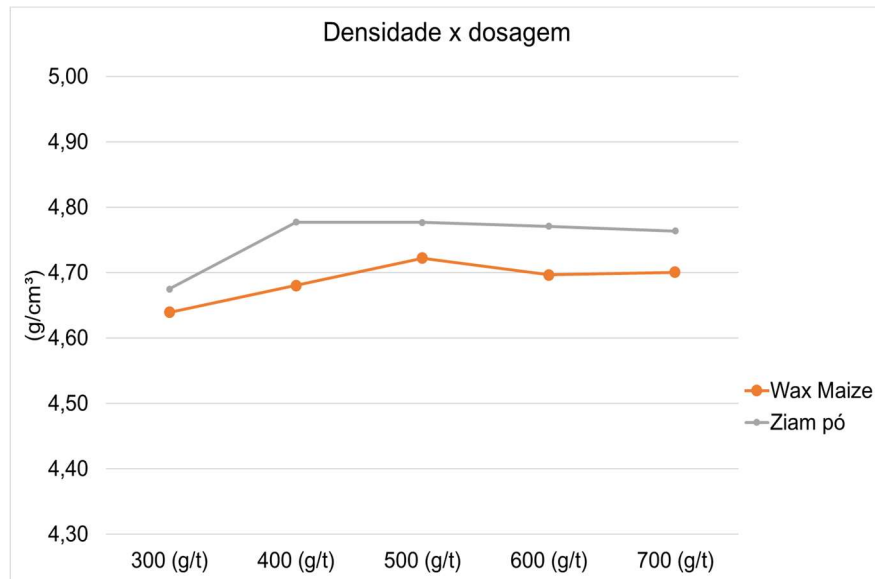
A coleta para análise química foi feita depois da deslamagem para se verificar o teor de alimentação da Flotação. Outra coleta foi realizada nos concentrados com dosagem de 400g/t dos depressores Wax Maize e Ziam Pó. Não foi possível realizar análises químicas de todos os concentrados, então, foram escolhidos concentrados com a dosagem que mais se aproxima das usadas em mineradoras (400g/t) para serem enviados para análise química; as quais foram realizadas na ArcelorMittal Monlevade utilizando-se fluorescência de RX - BRUKER S8 Lion.

## **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **3.1 Picnometria**

Através da densidade, tornou-se possível avaliar o comportamento de cada depressor, em que, para uma maior densidade, há um maior teor de ferro. A densidade da alimentação foi de 4,12 g/cm<sup>3</sup>. Na leitura do gráfico 1, observa-se uma densidade ligeiramente maior do concentrado dosado com Ziam Pó em relação ao dosado com Wax Maize, chegando a 4,78 g/cm<sup>3</sup> (400g/t com Ziam) e 4,64 g/cm<sup>3</sup> (300g/t com Wax Maize). A diferença de densidade entre os reagentes, apesar de ser observada maior densidade com Ziam Pó em todas as dosagens, pode ser considerada desprezível em alguns casos por ter valor relativamente baixo.

**Gráfico 1 – Densidade do concentrado frente à dosagem de depressor**

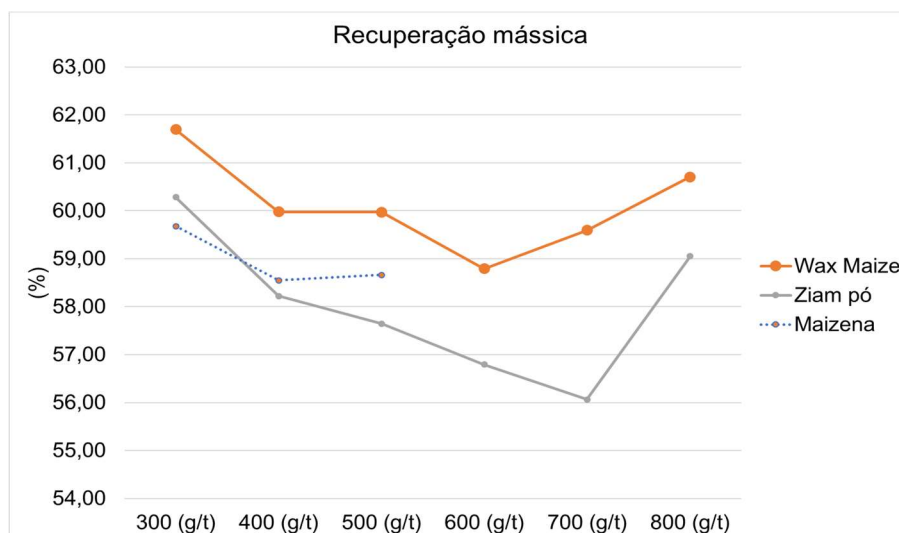


Fonte: Pesquisa aplicada, 2017.

### 3.2 Recuperações de massa e metalúrgica

Considerando que a ordem crescente para o teor de Amilopectina nos reagentes é Ziam Pó, Maizena e Wax Maize, no gráfico 2 pode-se observar que a quantidade de Amilopectina é proporcional à recuperação de massa, fazendo o concentrado dosado com Wax Maize obter uma recuperação de massa de 58,8% a 61,7%, enquanto o concentrado dosado com o Ziam Pó obteve valores de 56,1% a 60,3%.

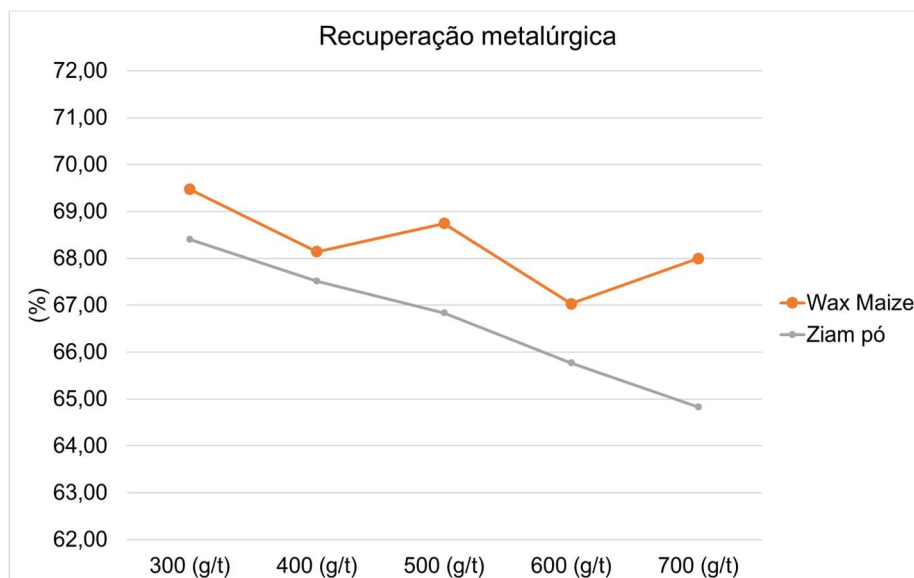
**Gráfico 2 – Recuperação de massa dos concentrados**



Fonte: Pesquisa aplicada, 2017.

No gráfico 3 observa-se uma maior recuperação metalúrgica do reagente Wax Maize em relação ao Ziam Pó devido a sua maior capacidade de recuperação de massa.

**Gráfico 3 – Recuperação metalúrgica dos concentrados**



Fonte: Pesquisa aplicada, 2017.

### 3.3 Análises químicas

As análises químicas refletiram os resultados da Picnometria. Nos concentrados levados para a análise química (dosagem 400g/t), a diferença foi de apenas 0,1% de Ferro, enquanto os resultados de densidade desses mesmos concentrados diferiram em 0,09g/cm<sup>3</sup>, indicando maior teor de Ferro (mesmo que desprezível em alguns casos) no concentrado dosado com Ziam Pó. A partir de um teor de alimentação com 45,6% de Ferro (Tabela 1), pôde-se obter um teor de 64,4% de Ferro no concentrado dosado com Ziam Pó (Tabela 2) e 64,3% de Ferro no concentrado dosado com Wax Maize (Tabela 3).

**Tabela 1 – Resultado de análise química do material alimentado na Flotação**

Identificação	%SiO <sub>2</sub>	%Fe	%Mn	%P	%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%CaO
<b>Itabirito Alimentação</b>	33,91	45,6	0,06	0,02	0,25	0,01

Fonte: Pesquisa aplicada, 2017.

**Tabela 2** – Resultado de análise química do concentrado dosado com 400g/t de Ziam  
Pó

Identificação	%SiO <sub>2</sub>	%Fe	%Mn	%P	%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%CaO	%MgO
<b>Concentrado AMIL 400</b>	7,19	64,40	0,06	0,03	0,24	0,02	0,10
	7,18	64,40	0,06	0,03	0,23	0,02	0,10
<b>Média</b>	<b>7,19</b>	<b>64,40</b>	<b>0,06</b>	<b>0,03</b>	<b>0,24</b>	<b>0,02</b>	<b>0,10</b>

Fonte: Pesquisa aplicada, 2017.

**Tabela 3** – Resultado de análise química do concentrado dosado com 400g/t de Wax  
Maize

Identificação	%SiO <sub>2</sub>	%Fe	%Mn	%P	%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%CaO	%MgO
<b>Concentrado AMPTN 400</b>	7,18	64,30	0,07	0,03	0,25	0,04	0,10
	7,21	64,30	0,07	0,03	0,23	0,04	0,10
<b>Média</b>	<b>7,20</b>	<b>64,30</b>	<b>0,07</b>	<b>0,03</b>	<b>0,24</b>	<b>0,04</b>	<b>0,10</b>

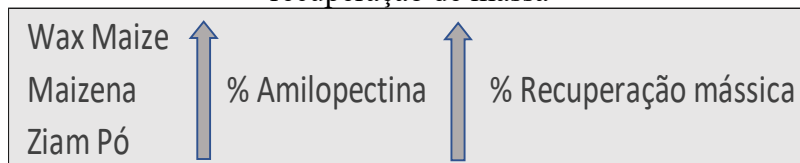
Fonte: Pesquisa aplicada, 2017.

Esses resultados se assemelham com o trabalho de Weissenborn em 1996, no qual foram obtidos maiores resultados de recuperação de massa da Hematita utilizando Amilopectina como reagente.

Matos (2017) afirma que a ligação de Hidrogênio é mais significativa em Polímeros de médio e grande peso molecular; logo, sugere-se que a ligação de Hidrogênio poderia ser a causa da diferença de resultados entre a Amilose e Amilopectina nos concentrados analisados.

De acordo com Matos (2017), ocorrem duas ligações importantes na adsorção entre o Amido e a Hematita: ligação de Hidrogênio e adsorção química; a Amilopectina é mais eficaz para realizar ligações de Hidrogênio em comparação à Amilose (Polissacarídeo de baixo peso molecular), podendo ser a causa da maior recuperação de massa. Porém, pelo fato de o Quartzo possuir camada Hidroxilizada estável (TURRER, 2007), as ligações de Hidrogênio poderiam estar sendo feitas também entre a Amilopectina e a superfície do Quartzo, não sendo possível um maior teor de Ferro no concentrado com dosagem de Amilopectina. A figura 3 apresenta a comparação da recuperação de massa frente ao teor de Amilopectina no depressor.

**Figura 3** – Esquema de comparação de teor de Amilopectina com valores de recuperação de massa



Fonte: Pesquisa aplicada, 2017.

#### 4. CONCLUSÕES

A Amilose não trouxe teores de Ferro significativamente maiores neste trabalho, fazendo com que a sua seletividade em relação ao mineral de Ferro não diferisse muito com relação à Amilopectina nos parâmetros avaliados.

O que se destaca é a maior recuperação de massa do reagente com maior teor de Amilopectina e mantendo o teor de Ferro praticamente igual ao do concentrado onde o reagente Ziam foi utilizado; além também do fato de a recuperação de massa do Amido de Milho (Maizena), que contém aproximadamente 75% de Amilopectina, compreender-se entre os outros dois reagentes; o que permite acreditar que a quantidade de Amilopectina no depressor influencia diretamente na recuperação em massa do concentrado.

#### REFERÊNCIAS

BALTAR, Carlos Adolpho Magalhães. **Flotação no tratamento de minérios**. 2. ed. Belo Horizonte: Universitária Ufpe, 2010. 238 p.

CHAVES, Arthur Pinto; L. FILHO, Laurindo de Salles; BRAGA, Paulo Fernando A.. Flotação. In: BRASIL. ADÃO BENVINDO DA LUZ. (Ed.). **Tratamento de Minérios**. 5. ed. Rio de Janeiro: Cetem-centro de Tecnologia Mineral, 2010. Cap. 11.p. 465-516.

GREET, C.J; SAMALL, G.L; PHILIPPE, S.; GRANO, S.R., **The Magotteaux Mill: investigating the effect of grinding media on pulp chemistry and flotation of performance**. Minerals Engineering, 17, (2004), 891-896.

LOPES, Gilmara Mendonça. **Flotação direta do minério de ferro**. 2009. 176 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas, Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

MATOS, Vanderson Eney de. **Seletividade de reagentes na flotação reversa de minério de ferro**. 2017. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia

Metalúrgica, Materiais e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

TURRER, Henrique Dias Gatti. **Polímeros depressores na flotação de minério de ferro**. 2007. 171 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

WEISSENBORN, Peter K. **Behaviour of amylopectin and amylose components of starch in the selective flocculation of ultrafine iron ore**. *International Journal Of Mineral Processing*. Austrália, p. 197-211. ago. 1996.