



## **AValiação de Diferentes Polissacarídeos como Depressores na Flotação Aniônica Direta de Minério Fosfático Ultrafino**

**CARNEIRO, A.A.<sup>1</sup>, SANTOS, A.M.A.<sup>1</sup>, OLIVEIRA, M.S.<sup>2</sup>,  
GUIMARÃES JUNIOR, M.<sup>3</sup>, ALVES, J.V.S.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET/MG), Graduação em Engenharia de Minas. e-mail: amandaap\_carneiro@hotmail.com.br; adrielemerciaa@gmail.com

<sup>2</sup>Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET/MG), Departamento de Minas e Construção Civil. e-mail: michelly@cefetmg.br

<sup>3</sup>Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET/MG), Departamento de Eletromecânica. e-mail: mgjunior@cefetmg.br

<sup>4</sup>Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET/MG), Laboratório de Tratamento de Minérios. Departamento de Minas e Construção Civil. e-mail: joao.alvesaraxa@hotmail.com

### **RESUMO**

A utilização de materiais de baixo custo e ambientalmente corretos que garantam maior eficiência no processo de flotação é inevitável nos dias de hoje. O emprego de novos materiais como depressores é uma alternativa rentável e significativa. Neste contexto, o objetivo do trabalho foi utilizar um resíduo amiláceo produzido por uma empresa localizada no Município de Araxá (MG), como depressor de minério fosfático. Desta forma, ensaios de flotação empregando-se 6 (seis) tipos de amostras (A1 a A6) de amido, foram realizados, sendo 05 (cinco) comerciais e um residual, todos de origens botânicas diferentes. A maior eficiência foi encontrada para a amostra (A5), produzindo um concentrado com cerca de 66,6 % de recuperação metalúrgica, enquanto as amostras (A3) e (A6) obtiveram recuperação metalúrgica de 62,9 e 49,2 %, respectivamente. Os teores de  $P_2O_5$  conseguidos após o processo de flotação, para as mesmas amostras, ficaram em torno de 27,9; 28,1 e 26,6 %, respectivamente. A relação  $Al_2O_3/P_2O_5$  ficou abaixo de 0,095 para todas as amostras ensaiadas, enquanto a relação  $CaO/P_2O_5$  permaneceu acima de 1,6; estipuladas como ideal.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fosfato, Flotação, Depressor, Resíduo Amiláceo, Amido.

### **ABSTRACT**

The use of low cost and environmentally correct materials that ensure greater efficiency in the flotation process is inevitable today. The utilization of new materials as depressants is a cost-effective and significant alternative. In this context, the objective of the work was to use an amylaceous residue produced by a Company located in Araxá (MG) city, as phosphate ore depressant. In this way, flotation tests using 6 (six) sample types (A1 to A6), were performed, being 05 (five) commercial and one residual, all from different botanical origins. The highest efficiency was found for the sample (A5), producing a concentrate with about 66.6 % of metallurgical recovery, while samples (A3) and (A6) obtained metallurgical recovery of 62.9 and 49.2 %, respectively. The  $P_2O_5$  grades obtained after the flotation process, for the same samples, were around 27.9; 28.1 and 26.6 %, respectively. The  $Al_2O_3/P_2O_5$  ratio was below 0.095 for all samples tested, while the  $CaO/P_2O_5$  ratio remained above 1.6; stipulated as ideal.

**KEYWORDS:** Phosphate, Flotation, Depressant, Amylaceous Residue, Starch.

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com Kneipp *et al.* (2012), a concorrência entre as organizações está cada vez mais voltada a busca de novas ferramentas que as mantenham no mercado. Novas estratégias, como a sustentabilidade integrada à preservação ambiental, o bem-estar social e o desenvolvimento econômico, surgem para melhorar a imagem da organização perante seus consumidores.

Na indústria mineral brasileira, a preocupação ambiental vem se intensificando nos últimos anos. As empresas têm buscado uma produção mais limpa através da redução de emissões atmosféricas nocivas, contaminantes tóxicos em descargas de efluentes e geração de resíduos. A conservação da matéria-prima, água e energia, bem como a substituição de reagentes nocivos ao meio ambiente e a saúde, também são estratégias que vem sendo adotadas (HILSON, 2000).

Neste contexto, para que haja uma separação mais seletiva dos minerais, e, conseqüente, concentração do mineral-minério no processo de flotação, é necessário que sejam utilizados alguns reagentes, entre eles, os depressores. Estes são responsáveis por tornar a superfície dos minerais que não se deseja flotar, mais hidrofílica. Os depressores podem ser orgânicos ou inorgânicos, sendo os orgânicos mais vantajosos devido a sua estabilidade, baixo custo, biodegradabilidade e atoxicidade. O principal exemplo é o amido (PERES; ARAUJO, 2006; SOUZA *et al.*, 2014).

Segundo Turrer (2007), no Brasil, no ano de 2007, o consumo de amido pelas usinas de beneficiamento de fosfato e minério de ferro foram de 9.420 e 45.840 t/ano, respectivamente. Na concentração de minério fosfático, o consumo de amido representa cerca de 15 % dos custos com insumos. Apesar do baixo valor, entre R\$ 0,70 e R\$ 0,90/Kg, o alto consumo deste polissacarídeo acarreta gastos elevados. Assim, de acordo com o autor, para seleção do depressor, vários fatores devem ser considerados, não apenas sua performance, mas também seu valor, disponibilidade, biodegradabilidade, toxicidade, características do minério e do coletor empregado, entre outras.

Como alternativa aos depressores, atualmente empregados na flotação catiônica reversa de minério de ferro, Silva *et al.* (2015) avaliaram a aplicação de um resíduo gerado por uma indústria alimentícia. Segundo os autores, o resíduo em dosagens maiores que 1600 mg/L poderia apresentar potencial para deprimir as partículas de hematita. Já Oliveira (2014) e Resende (2013) estudaram a aplicação de um depressor extraído do resíduo de fibra de milho e um biopolímero proveniente do bagaço de cana, respectivamente. Em ambos os estudos, as autoras concluíram que os depressores avaliados mostraram forte potencial à substituição do amido comercial já empregado, tornando-se alternativas sustentáveis.

Segundo pesquisas realizadas pelos autores deste trabalho em diversas fontes específicas da literatura, ainda é escasso o número de estudos que investiguem resíduos como depressores na flotação de minério fosfático. Atualmente, as pesquisas estão voltadas para a avaliação de polissacarídeos de diferentes fontes botânicas.

No município de Araxá (MG), localizado na região do Alto Paranaíba, está implantada a cerca de 13 anos, uma grande indústria geradora de resíduo amiláceo, o qual é gerado durante a produção de batatas pré-fritas. Cerca de 50 mil toneladas de batatas pré-fritas são produzidas anualmente pela Empresa, produzindo vários tipos de resíduos durante o seu

processo de produção, dentre eles, a polpa da batata, de onde é extraído o resíduo amiláceo, que após decantado e centrifugado é estocado em *big-bags*.

Visando agregar benefícios econômicos e ambientais, este trabalho teve como objetivo avaliar o emprego deste tipo de resíduo como depressor na flotação aniônica direta do minério fosfático ultrafino, proveniente do Complexo de Mineração de Tapira (MG) – CMT. A comparação dos resultados encontrados para este resíduo amiláceo com outros 5 (cinco) tipos de amidos comerciais, incluindo o amido atualmente empregado pelas usinas de beneficiamento brasileiras, também foi objeto deste trabalho.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

A amostra do minério fosfático ultrafino continha 10,77 % de  $P_2O_5$ , densidade de 2,93  $g/cm^3$  e a distribuição granulométrica mostrada na Figura 1. Para a realização dos ensaios, desde a preparação dos reagentes até o processo de flotação, seguiu-se a metodologia dos trabalhos realizados por Santos (2017), Coutinho (2016) e Silva (2015), desenvolvidos no CEFET/MG Unidade Araxá.

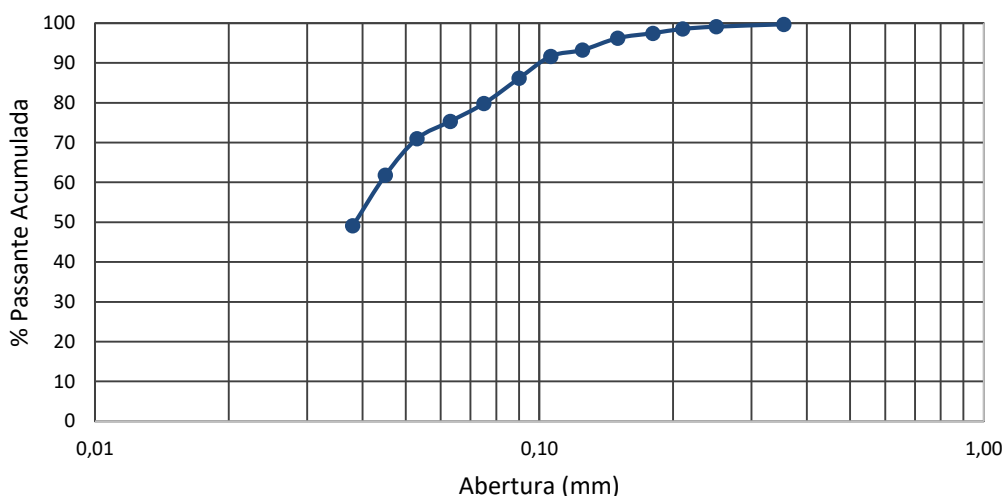


Figura 1. Distribuição Granulométrica do minério fosfático ultrafino

As amostras de polissacarídeos (A1 a A6) são provenientes de várias empresas localizadas em diversas regiões do País e originárias de distintas fontes botânicas. A1: amido de milho utilizado no processo de flotação industrial; A2: amido de milho comercial; A3: amido de mandioca modificado; A4: amido de milho comercial waxy; A5: amido de batata residual e A6: amido de arroz hidrolisado. Relação amilopectina/amilose:  $A4 > A6 > A3 > A2 > A1 > A5$ . Teor de carboidratos:  $A1 < A4 < A5 < A2 < A6 < A3$ .

## 2.2 Métodos

### 2.2.1 Preparação dos reagentes

Para a saponificação do óleo vegetal Hidrocol, utilizado como coletor aniônico, foram utilizados 5 g de óleo; 7,85 g de água; 7,15 g de NaOH (hidróxido de sódio) com concentração de 10 % (m/v) e 180 g de água para diluição. Óleo, água e NaOH foram misturados durante 10 min. em agitador magnético. Após este tempo, adicionou-se água de diluição e nova agitação foi realizada durante 10 min. Durante o procedimento, cuidados foram tomados para que não houvesse a formação de espumas, por isso a não fixação de uma velocidade de agitação. A solução de coletor foi preparada com uma concentração de 2,5 % (m/m) de óleo e sua dosagem ao longo dos testes foi de 250 g/t.

Para a gelatinização das 6 (seis) amostras de polissacarídeos (A1 a A6) foram pesados 5 g de cada amostra; 45 g de água; 12,5 g de NaOH com concentração igual a 10 % (m/v) e 104,16 g de água para diluição. O polissacarídeo, a água e o NaOH foram misturados durante 10 min. As amostras foram agitadas em agitador mecânico IKA modelo RW20DS32, com velocidade de rotação de 300 rpm. Após este tempo, adicionou-se água de diluição à mistura e nova agitação foi realizada por mais 10 min. Todas as soluções preparadas apresentaram concentração de 3 % (m/m) de amido e a dosagem adotada para os ensaios foi de 500 g/t. A Figura 2 mostra o aspecto das seis amostras ensaiadas, já gelatinizadas.

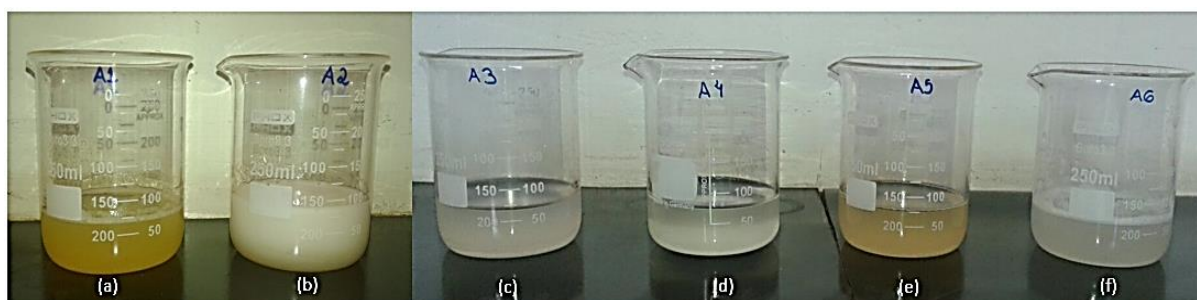


Figura 2. Amostras gelatinizadas em béqueres de 250 ml: (a) A1, (b) A2, (c) A3, (d) A4, (e) A5, (f) A6

### 2.2.2 Condicionamento e flotação

Objetivando a interação dos reagentes com os minerais presentes na amostra, a fim de possibilitar a flotação das partículas de apatita, realizou-se, primeiramente, o condicionamento da polpa. Minério e água foram inseridos em uma cuba de 1,5 L; seguido da ligação do motor da célula flotação Denver, conforme mostra a Figura 3a. Inicialmente o depressor foi inserido e o minério condicionado durante 5 min. Logo após o coletor foi acrescentado e os minerais foram condicionados por 2 min. Água para flotação foi inserida à polpa. O pH da polpa foi monitorado e ajustado em 9,5; mediante solução de NaOH (10 % m/v), ao longo de todo condicionamento, através de um pHmetro Hanna modelo Edge, conforme Figura 3b. No condicionamento foi adotado 50 % de sólidos para a polpa, enquanto na flotação, 25 %.

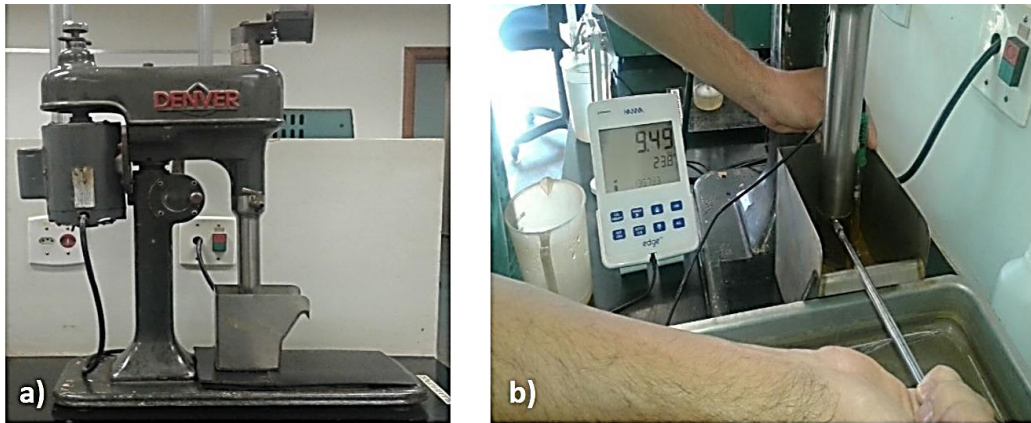


Figura 3. (a) Célula de flotação Denver; (b) Ajuste de pH da polpa através de solução alcalina

Durante o início do processo de flotação, a válvula para entrada de ar foi aberta e a espuma gerada, raspada até a formação de bolhas já desmineralizadas e em pequena quantidade. Para cada amostra gelatinizada foi realizado o teste de flotação em duplicata, totalizando 12 ensaios. No final de cada um deles, os concentrados e rejeitos foram levados à estufa para secagem a 100 °C, onde permaneceram durante 24 h, e posteriormente pesados. Após homogeneização e quarteamento para obtenção de cerca de 40 g, as amostras foram enviadas para o Laboratório de Caracterização do Curso de Engenharia de Materiais do CEFET/MG para realização da análise química por Fluorescência de Raios-X.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio da pesagem dos concentrados produzidos em cada teste de flotação e após suas respectivas análises químicas, as recuperações mássicas e metalúrgicas foram obtidas e analisadas. O resultado está mostrado na Figura 4. Os valores médios apresentados foram realizados em duplicatas para cada um dos ensaios.

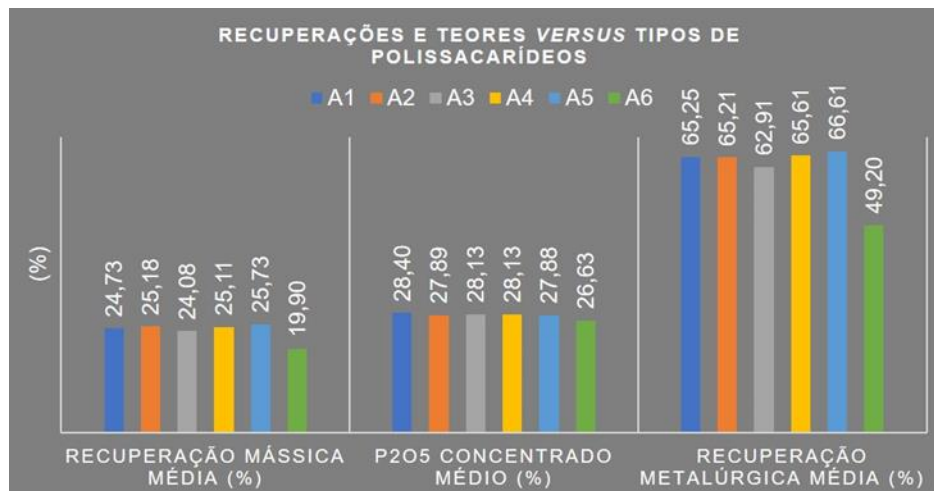


Figura 4. Recuperações mássica, metalúrgica, e teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para cada polissacarídeo empregado

De acordo com a Fig. 4, observou-se que as amostras (A1), (A2), (A4) e (A5) se destacaram das demais, por terem apresentado maiores eficiências após o processo de flotação, com destaque para a amostra (A5), que produziu um concentrado com 66,61 % de recuperação metalúrgica média. A amostra (A5) também apresentou, em relação às demais amostras, maior valor médio para recuperação mássica (25,73 %) e teor médio de  $P_2O_5$  (27,88%) bastante semelhante as demais. Para este parâmetro, a amostra (A6) foi a que apresentou o menor teor de  $P_2O_5$  médio (26,63 %).

Para a amostra industrial (A1) os valores médios para recuperações mássica e metalúrgica foram de 24,73 e 65,25 %, respectivamente. A amostra também apresentou o maior teor de  $P_2O_5$  médio (28,40 %) em comparação as demais. Em contrapartida, os piores resultados foram apresentados pela amostra (A6). Os valores médios encontrados para a recuperação mássica, metalúrgica e teor de  $P_2O_5$ , foram de 19,90; 49,20 e 26,63 %, respectivamente. Assim, constatou-se que o amido A6 não deprimiu somente os minerais de ganga, como também a apatita, não se mostrando uma boa alternativa para flotação direta de minério fosfático.

Os teores de  $P_2O_5$  apresentados na Fig. 4 para os concentrados fosfáticos obtidos apresentaram-se inferiores aos exigidos pela indústria de ácido fosfórico ( $\geq 35\% P_2O_5$ ) (OLIVEIRA, 2007). Com exceção do teor apresentado pela amostra (A6), todos as demais apresentaram tendências de valores constantes, considerando o valor absoluto igual a 28 %. Isso demonstra a necessidade de inserir etapas de limpeza (*cleaner* e *re-cleaner*) no circuito de flotação para que o padrão de qualidade seja atingido. Entretanto, vale ressaltar o desempenho semelhante da amostra residual de amido (A5) em relação as amostras comerciais, inclusive a que é atualmente empregada industrialmente na flotação de minério fosfático (A1).

Os dados apresentados na Fig. 4 são compatíveis com aqueles já citados na literatura. Souza *et al.* (2014) avaliaram 8 depressores (hexametáfosfato de sódio, silicato de sódio, amido de milho, amido de mandioca, amido modificado I, amido modificado II, dextrina e carboximetilcelulose) na flotação aniônica direta de um minério fosfático sílico-carbonatado, com 17,2 % de  $P_2O_5$ , utilizando célula de flotação. As dosagens de depressor foram variadas entre 100 e 600 g/t. Os pesquisadores mostraram que entre estas dosagens, os teores variaram entre 23 % e 31 % de  $P_2O_5$ , enquanto as recuperações metalúrgicas ficaram entre 44 % e 83 %. Os resultados atingidos neste trabalho variaram dentro destas faixas. Além disso, para a dosagem de 500 g/t empregando-se o amido de milho, Souza *et al.* (2014) obtiveram 28 % de  $P_2O_5$  e 66 % de recuperação metalúrgica, que são semelhantes aqueles mostrados na Fig. 4.

No que se refere aos contaminantes ( $CaO$ ,  $Al_2O_3$  e  $Fe_2O_3$ ), a Figura 5 mostra a relação destes com os teores de  $P_2O_5$  obtidos no concentrado de cada teste. Somente a relação  $Al_2O_3/P_2O_5$  atingiu os valores estipulados pela indústria de fertilizantes, permanecendo abaixo de 0,095 (OLIVEIRA, 2007). As relações  $CaO/P_2O_5$  e  $Fe_2O_3/P_2O_5$  ficaram acima dos valores considerados limites, iguais a 1,6 e 0,095; respectivamente, podendo ser reduzidas através da adição de etapas de flotação posteriores. Considerando o valor absoluto, a relação  $CaO/P_2O_5$ , permaneceu igual a 1,7, com exceção do polissacarídeo (A6), que se manteve em torno de 1,8. A relação  $Fe_2O_3/P_2O_5$  para todas as amostras foi igual a 0,3. O polissacarídeo (A6) não se mostrou um depressor eficiente para minerais portadores de cálcio, mas essa mesma amostra

produziu um concentrado com baixo valor (0,303) no que se refere a relação  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{P}_2\text{O}_5$ , indicando que a mesma pode ser um bom depressor para minérios de ferro.

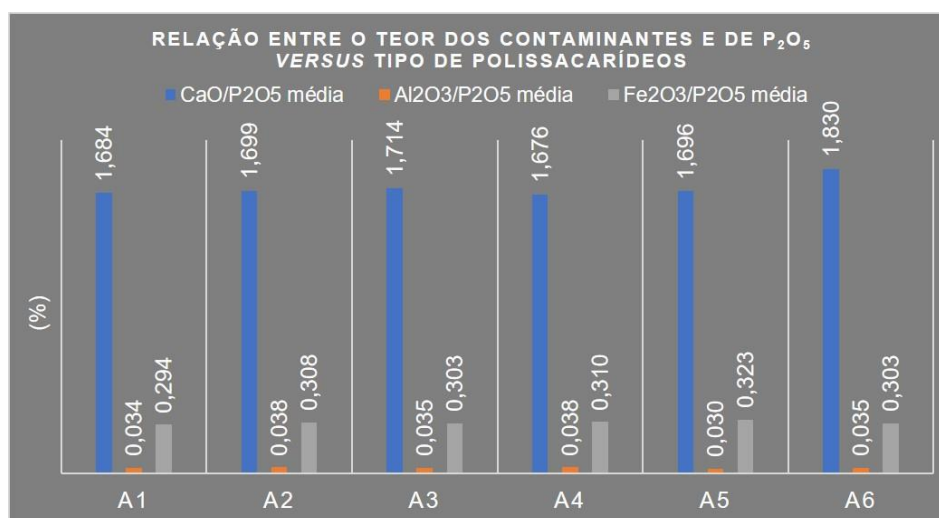


Figura 5. Relação do teor dos contaminantes e  $\text{P}_2\text{O}_5$  para cada ensaio

De maneira geral, em todos os ensaios, com exceção daquele em que se utilizou a amostra (A6), não houve uma grande variabilidade dos resultados obtidos. Contudo, aqueles produzidos com a amostra (A5) foram superiores aos demais. Portanto, o amido residual (A5) pode ser uma opção viável ambientalmente e economicamente, já que os custos atuais com materiais depressores amiláceos representam um percentual significativo no valor total dos insumos necessários em usinas de beneficiamento de minério fosfático.

#### 4. CONCLUSÕES

Dentre os polissacarídeos analisados, a amostra residual (A5) apresentou a melhor eficiência, com os maiores valores de recuperações mássica e metalúrgica, iguais a 25,73 % e 66,61 %, respectivamente, em relação a amostra de controle (A1), que apresentou 24,73 % para a recuperação mássica e 65,25 % para a recuperação metalúrgica. O teor de  $\text{P}_2\text{O}_5$  mensurado para ambos os amidos foi de 28 %.

O depressor (A6) não se mostrou eficiente para o minério fosfático, uma vez que deprimiu amostras de apatita promovendo baixa recuperação metalúrgica (49,20%). Entretanto, se mostrou uma opção interessante para a depressão de minerais portadores de ferro, por ter apresentado uma baixa relação  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{P}_2\text{O}_5$ .

As amostras residuais de polissacarídeos podem ser utilizadas diretamente no processo de gelatinização, sem tratamentos prévios ou modificações químicas, necessitando apenas de desaguamento e secagem.

Os resultados abrem novas possibilidades de utilização de materiais residuais no processo de flotação para diversos tipos de minérios.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Vale Fertilizantes (atual Mosaic Fertilizantes) pelo fornecimento das amostras de minério fosfático ultrafino e ao laboratório de Tratamento de Minérios do Departamento de Minas e Construção Civil do CEFET/MG Unidade Araxá por possibilitar a realização dos testes de flotação. Bem como ao laboratório de Caracterização de Materiais do Departamento de Engenharia de Materiais do CEFET/MG pela realização das análises químicas.

## 6. REFERÊNCIAS

- Coutinho NAFS. Otimização do Processo de Flotação do Minério Fosfático Sílico-carbonatado de Araxá-MG. [Trabalho de Conclusão de Curso]. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Araxá; 2016.
- Hilson G. Pollution prevention and cleaner production in the mining industry: an analysis of current issues. *Journal of Cleaner Production* 2000; 8; 119-126.
- Kneipp JM, Gomes CM, Bichueti RS, Maccari EA. Gestão para a sustentabilidade em empresas do setor mineral. *Revista de Ciências da Administração* 2012; 14(33); 52-67.
- Oliveira FN. Evaluation of sustainable biopolymer as depressant for iron ore cationic reverse flotation. [Dissertação de Mestrado]. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa; 2014.
- Oliveira MS. Minério Fosfático Sílico-Carbonatado: Estudo Fundamental. [Tese de Doutorado]. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte; 2007.
- Peres AEC, Araujo AC. Teoria e Prática do Tratamento de Minérios: Flotação o Estado da Arte no Brasil. São Paulo: Signus; 2006. Chapter 1, A flotação como operação unitária no tratamento de minérios, v. 4, p. 1-29.
- Resende TM. Uso de biopolímero sustentável como depressor seletivo da hematita na flotação de minério de ferro. [Dissertação de Mestrado]. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa; 2013.
- Santos KF. Flotação de minério fosfático sílico-carbonatado. [Trabalho de Conclusão de Curso]. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Araxá; 2017.
- Silva LA. Avaliação do tempo de condicionamento, dosagem de reagentes e granulometria para flotação de fosfato em coluna. [Trabalho de Conclusão de Curso]. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Araxá; 2015.
- Silva LCR, Rodrigues OMS, Pereira CA, Pereira VB. Aplicação de resíduo da indústria alimentícia, como depressor de hematita. In: Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, organização. Proceedings do XXVI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa; 2015 Out 18-22; Poços de Caldas, Brasil. p. 1-9.
- Souza AL, Albuquerque RO, Lameiras FS, Praes PE, Peres AEC. Use of depressants in the direct flotation of a silicate-carbonate phosphate ore. *Revista Escola de Minas* 2014; 67(2); 191-196.
- Turrer HDG. Polímeros depressores na flotação de minério de ferro. [Tese de Doutorado]. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte; 2007.