



## ANÁLISE DE USO DE DISPERSANTES NA CONCENTRAÇÃO MAGNÉTICA

GOMES, A.C.F.<sup>1</sup>, PAPINI, R.M.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Faculdade de Engenharia (FAENG).

E-mail: anaclaudiafrancgomes@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Departamento de Engenharia de Minas (DEMIN).

### RESUMO

A floculação magnética que ocorre em partículas finas de Fe é uma ocorrência que diminui a qualidade do produto da concentração magnética. Este estudo caracterizou material coletado em contenção de rejeitos de mineradora de ferro e avaliou a interferência da dispersão da polpa neste tipo de processamento. A amostra com densidade  $3,10 \text{ g/cm}^3$  foi classificada como fina com  $d_{90} = 75 \text{ }\mu\text{m}$ . Os minerais ditos paramagnéticos hematita e goethita, e os diamagnéticos quartzo, óxido de manganês e caulinita foram encontrados. O estudo de dispersão em função do pH apontou que o grau de dispersão (GD) máximo (19%) é alcançado em pH 9,5. Já para os dispersantes avaliados, o GD máximo foi conseguido na proporção de 900 g/t; o hexametáfosfato obteve GD de 20% e o poliácrlato de sódio conseguiu GD de 21%. O hexametáfosfato de sódio foi o dispersante escolhido devido ao seu bom resultado de GD (próximo ao do poliácrlato) e ao seu preço comercial acessível. Como desfecho, a concentração magnética proposta para o rejeito (com teores iniciais de 36,53% Fe e 43,64%  $\text{SiO}_2$ ) alcançou as especificações de produto comercial de minério de ferro com o uso de dispersantes imediatamente antes da alimentação da concentração magnética.

**PALAVRAS-CHAVE:** Dispersão de paramagnéticos, Finos paramagnéticos, Rejeito de ferro.

### ABSTRACT

The magnetic aggregation that occurs in fine particles of paramagnetic minerals is a phenomenon that compromises the quality of the concentrate in magnetic concentration. The present work characterized an iron tailing and evaluated the influence of dispersion of the sample to the concentration. The sample with density  $3,10 \text{ g/cm}^3$  was classified as thin with  $d_{90} = 75 \text{ }\mu\text{m}$ . The paramagnetic hematite and goethite and the diamagnetic quartz, manganese oxide and kaolinite were found in the chemical characterization. The dispersion study as a function of pH showed that the maximum degree of dispersion (GD) (19%) is reached at pH 9.5. For the reagents tested, the maximum GD was reached in the dosage of 900 g/t; the hexametaphosphate reached 20% GD and sodium polyacrylate achieved the maximum dispersion of 21%. Finally, the iron ore tailing with initial contents of 36,53% Fe and 43,64%  $\text{SiO}_2$ , after magnetic concentration, can be considered a commercial product or iron ore.

**KEYWORDS:** Dispersion in magnetic separation, Iron ore fines, Iron ore tailing.

## 1. INTRODUÇÃO

A concentração magnética é um método comum no processamento de minério que contém ferro a nível mundial. A propriedade diferenciadora entre as espécies minerais exploradas é a susceptibilidade magnética. Para o melhor entendimento desta propriedade, as partículas minerais se comportam de maneiras distintas quando expostas a um campo magnético externo. Assim, os minerais podem ser divididos em ferromagnéticos, cujo exemplo clássico é a magnetita, que possui grande intensidade magnética; paramagnéticos, como exemplos hematita e goethita, que possuem média ou baixa intensidade magnética e diamagnéticos, quartzo e caulinita, que não possuem intensidade magnética, como o quartzo e a caulinita.

Altos valores dessa propriedade intrínseca dos minerais implicam em campos baixos que devem ser aplicados para a separação do mineral-minério da (s) ganga (s). Logo, nos ferromagnéticos a granulometria das partículas não é de extrema importância para a sua concentração e, como estas possuem grande intensidade magnética, campos de baixa intensidade devem ser priorizados. Entretanto, para as paramagnéticas, quanto menor a granulometria das partículas com o elemento de interesse, maior a probabilidade do arraste hidrodinâmico (SILVA, 2014).

Ainda sobre os finos nesse tipo de beneficiamento, a floculação ou agregação magnética é uma ocorrência típica de partículas finas ferromagnéticas em decorrência da alta força atrativa entre elas. Para Lu, Pugh e Forssberg (2005), este fenômeno também é observado em partículas paramagnéticas que formam agregados quando um campo magnético externo suficientemente alto é aplicado no sistema. Sobre as possibilidades da floculação para polpas magnéticas, elas podem ocorrer por revestimento (quando a diamagnética é muito maior que as paramagnéticas e é revestida por elas), por sementeira (quando diamagnéticas e paramagnéticas possuem granulometria próxima e formam uma espécie de linha intercalada) e também por arraste (quando paramagnéticas são bem maiores que as não magnéticas e arrastam estas para o produto).

Lu, Pugh e Forssberg (2005) e Silva (2012) discorrem sobre a tecnologia *Floc Magnetic Separation* (FMS) no processamento de minério de ferro pobre. Segundo os pesquisadores, se as partículas finas paramagnéticas forem removidas da polpa através da sua dispersão e posterior floculação seletiva, a separação magnética irá apresentar concentrados mais “limpos”.

Bhagat e Pathak (1995) relataram uma concentração com alto campo magnético para minério de tungstênio com a adição de reagente dispersante polimérico no decorrer do processo. Os britadores e moinhos da planta de processos geravam finos que, na polpa, formavam agregados. Um equipamento de separador magnético de alto campo (10.000 G) foi escolhido para separar as espécies para e diamagnéticas. O uso do reagente minimizou a heterocoagulação da polpa responsável por um produto 10% mais rico, todavia, com recuperação mássica em torno de 5% inferior.

Perez *et al.* (2003) patentearam um dispersante polimérico sulfonado no intuito de melhorar a seletividade na concentração magnética de minérios. O dispersante deve ser condicionado à polpa imediatamente antes ou durante o processo para inibir a agregação de

partículas finas. Os pesquisadores relatam também a experiência positiva de concentrar finos ferromagnéticos previamente com silicato, hexametáfosfato, e poliacrilato de sódio.

Para Gomes (2017), nestes exemplos citados, o uso de dispersantes foi proposto em virtude da eficácia dos processos de separação magnética ser prejudicada pela adsorção ou aglomeração de partículas diamagnéticas em torno de espécies ferro ou paramagnéticas, impedindo que estas últimas sejam atraídas pelo campo induzido do equipamento, fazendo que as mesmas sejam direcionadas para o rejeito.

Dessa forma, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a influência de distintos dispersantes na rota de concentração magnética proposta para o rejeito de minério de ferro estudado. Para tal, realizou-se a caracterização física, química e morfológica do rejeito *in natura* e química dos concentrado obtidos para os diferentes testes magnéticos feitos.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia adotada abordou obtenção de amostra depositada em contenção de rejeitos de ferro na cidade de Brumadinho, na sua secagem, amostragem, caracterização física, química e mineralógica, deslamagem, concentração magnética e testes de dispersão da polpa.

A própria mineradora forneceu a amostra inicial e garantiu a sua amostragem. Em sequência, o rejeito foi seco ( $100^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{ C}$  por 24 h) e novamente amostrado por divisões sucessivas. A massa específica foi verificada por picnometria (triplicata com aparelhos de 100 mL). A análise granulométrica foi avaliada por peneiramento combinado com corte em  $38 \mu\text{m}$ . O material retido passou por jogo de peneira da série Tyler e o passante por CycloSiser (Warman M4/ temperatura =  $26^{\circ} \text{ C}$ , vazão = 200 mm e tempo de elutriação = 23 min).

Após a caracterização física, a química foi realizada por fluorescência de raios-X (FRX), e a mineralógica por difração de raios-X (DRX) e por microscopia eletrônica de varredura com espectrometria de raios-X por dispersão de energia (MEV/EDS).

A deslamagem foi realizada segundo prática comum industrial - em  $10 \mu\text{m}$  por meio do controle do pH 10,5 pelo acréscimo de NaOH (5%). O afundado alimentou o teste magnético em equipamento de alto campo regulável tipo Jones (triplicata). A figura 1 ilustra a rota utilizada.

O concentrado resultante foi avaliado por FRX. No intuito de avaliar a interferência da dispersão da polpa na qualidade do concentrado, testes de dispersão foram executados em tubo de Galery (tubo de vidro de 18,5 cm de altura, 4,5 cm de diâmetro com uma saída a 1,5 cm do fundo do tubo e 0,5 cm de diâmetro para o sobrenadante).

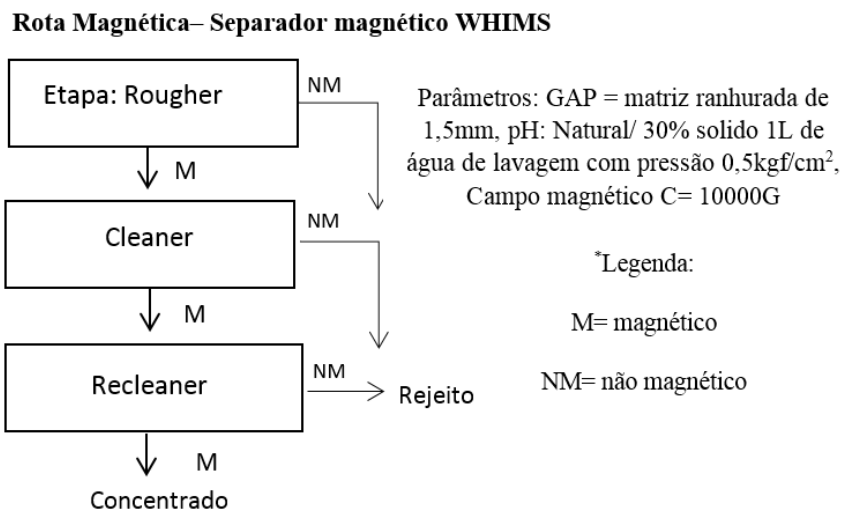
Primeiro adicionou-se 8 g do rejeito amostrado e 210 mL de água destilada no tubo que já estava conectado em um agitador magnético que manteve a polpa em suspensão. O pH natural do sistema foi aferido e novos reagentes foram inseridos a ele. Primeiro avaliou-se a influência do pH no sistema, desde o natural até 11,5 através da adição de NaOH (1%). O

segundo estudo avaliou o reagente hexametáfosfato de sódio (1%) e o terceiro, o poliacrilato de sódio (1%), ambos na relação gramas de dispersante/tonelada de rejeito de 400, 900 e 1200 g/t. Uma vez em suspensão e com o devido reagente adicionado, esperou-se 10 minutos (tempo de condicionamento), a agitação magnética foi desligada, e passados 2 minutos (tempo de sedimentação), o sobrenadante e afundado foram recolhidos e pesados.

As três análises (ajuste de pH pela adição de NaOH, adição de diferentes dosagens de hexametáfosfato de sódio e adição de diferentes dosagens de poliacrilato de sódio) foram realizadas em triplicata. O grau de dispersão da polpa (GD) foi calculado pela equação 1:

$$GD = \frac{M_{of}}{M_{of} + M_{uf}} \times 100 \quad (1)$$

Onde  $M_{of}$  é a massa do sobrenadante (g) e  $M_{uf}$  a massa do afundado(g).



**Figura 1: Rota de processamento adotada**

Com os valores encontrados de GD para cada reagente proposto, novos ensaios de concentração magnética foram realizados na intenção de observar a interferência da dispersão da polpa na qualidade dos concentrados. A mesma rota de processo (figura 1) foi utilizada. Dessa forma, os reagentes foram adicionados à polpa mineral imediatamente antes da separação magnética, com tempo de agitação de 5 minutos. Os concentrados foram analisados e comparados através da análise de FRX.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 2 sintetiza a caracterização realizada. A massa específica avaliada foi de 3,10 g/cm<sup>3</sup> (valor esperado visto os minerais majoritários). A distribuição granulométrica enquadra

o rejeito como fino,  $d_{90}= 75 \mu\text{m}$ ,  $d_{50}= 45 \mu\text{m}$  e aproximados 5% inferiores a  $10 \mu\text{m}$ . A análise no MEV/EDS comprovou os minerais identificados na análise DRX e elementos na FRX: hematita (granular e martita), goethita, quartzo, caulinita e óxido de manganês. A ferromagnética magnetita não foi encontrada no rejeito avaliado.

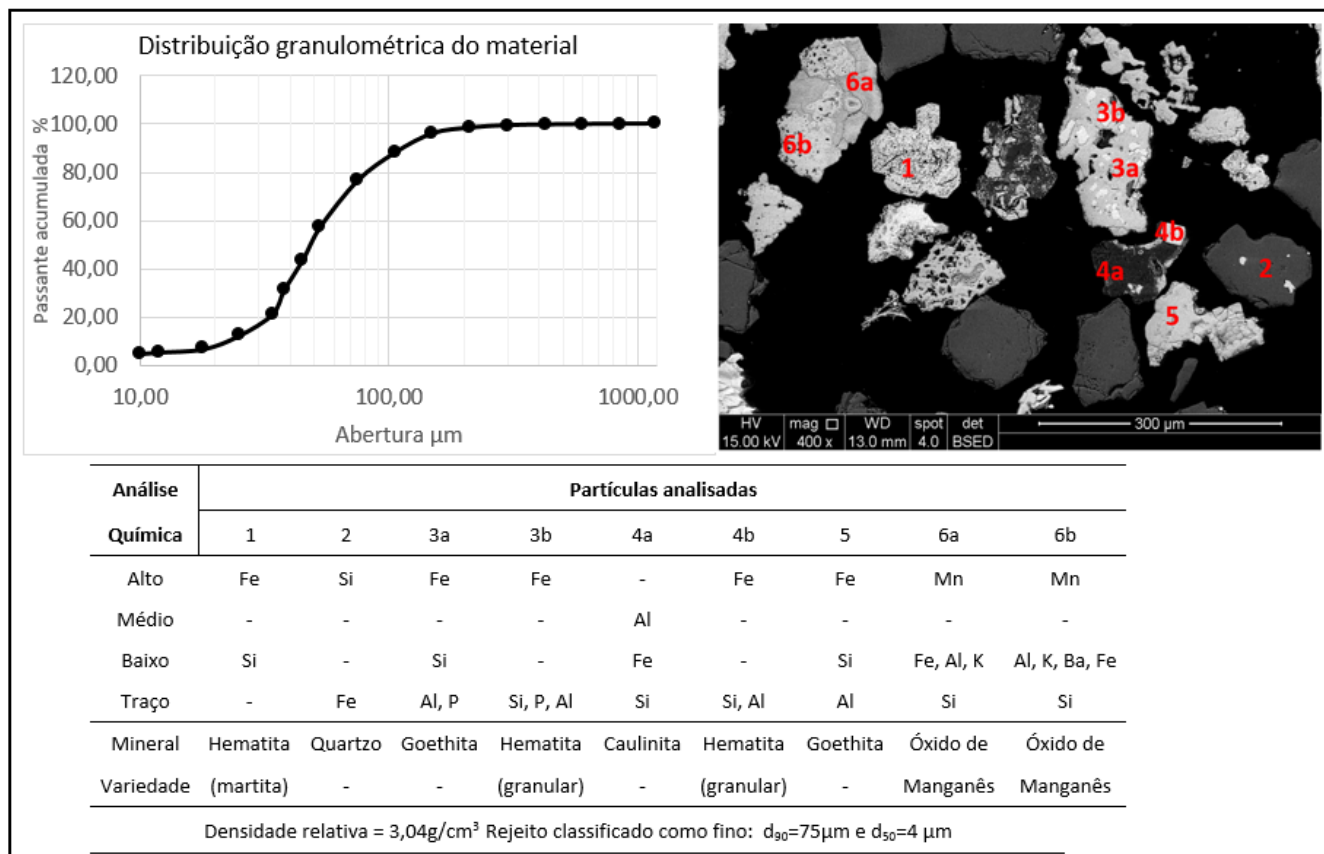


Figura 2: Síntese da caracterização material estudado

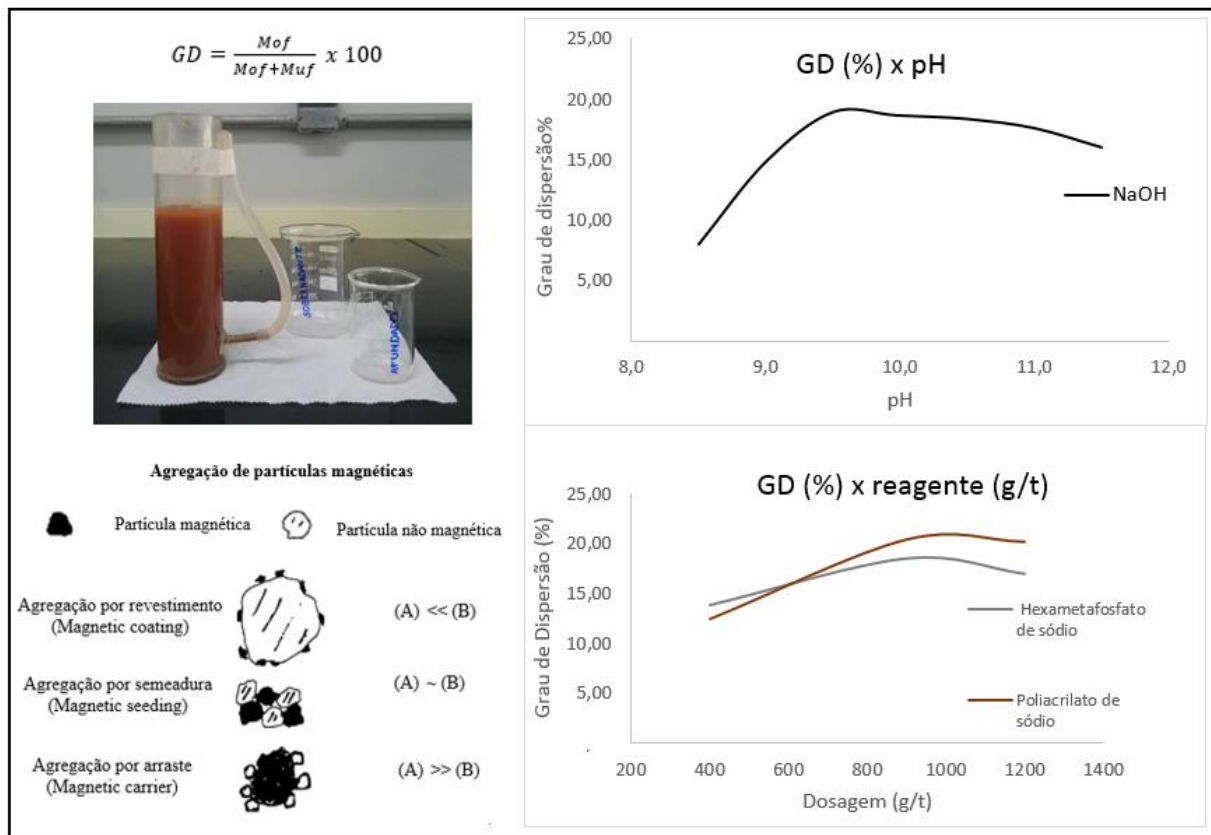
Na figura 3 são apresentadas as curvas obtidas nos testes de dispersão juntamente ao tubo de Galery utilizado e as principais formas de agregação em polpas que contêm partículas paramagnéticas (adaptado de Lu, Pugh e Forsberg, 2005).

O gráfico no canto superior direito fornece a associação entre Grau de dispersão (GD) e pH (aumentado com a adição de NaOH). Nota-se que o GD da polpa com pH natural é o menor dentre os avaliados, aproximados de 10%. O aumento do pH faz com que o GD do sistema também seja maior. A dispersão máxima de 19% é conseguida com o ajuste de pH em 9,5. A partir daí a curva apresenta uma deflexão, e os valores de GD passam a ser mais baixos.

É sabido que em pH mais ácidos que o natural testado, o quartzo apresenta carga superficial negativa e hematita e goethita apresentam cargas positivas, o que promove a agregação entre estas espécies. Com o aumento do pH as cargas superficiais assumem o mesmo sinal promovendo a repulsão, ou seja, dispersão entre as partículas.

Já o gráfico do canto inferior direito relaciona GD, quantidade e tipo de dispersante utilizado. Para ambos os reagentes propostos, a quantidade mais vantajosa, em relação a

dispersão da polpa, cerca de 21%, foi a de 900 g/t; sendo considerados mais eficientes que o NaOH.



**Figura 3: Grau de dispersão da polpa em função do pH, da dosagem e do tipo de dispersante**

O estudo apresentado demonstrou que a deslamagem do sistema pode ser melhorada com o uso de reagentes dispersantes ou melhor adequação de pH.

Para analisar a interferência da dispersão em polpas com finos paramagnéticos na concentração magnética, novos testes foram feitos. A tabela 1 dispõe das análises químicas realizadas nos concentrados destes testes. Nota-se que no teste 1 (deslamado em 10 µm) apresenta o menor teor de Fe dentre os apresentados. O ajuste de pH descrito nos testes 2 e 3 foi elevado o teor de Fe e diminuiu o de SiO<sub>2</sub>. Como em pH 9,5 o GD da polpa é maior que em pH 10,5, os teores para o pH 9,5 são mais satisfatórios. O mesmo ocorre para os ensaios 4 e 5 (pH natural, com adição dos reagentes hexametáfosfato e poliacrilato de sódio, respectivamente). Como o poliacrilato de sódio apresenta um grau de dispersão mais elevado que o hexametáfosfato de sódio, o primeiro apresentou teor de Fe mais alto e de SiO<sub>2</sub> mais baixo.

Todos os ensaios feitos com agente dispersante, 2 (pH 10,5 com NaOH), 3 (pH 9,5 com NaOH), 4 (hexametáfosfato de sódio) e 5 (poliacrilato de sódio) apresentaram melhores resultados que o teste 1 (pH natural e sem adição de dispersante) em termos de teor, ainda que a recuperação mássica de todos os 5 ensaios tenha sido bastante próxima (aproximados 75%), confirmando assim a interferência positiva da dispersão para processos de concentração de ferro.

Ainda que ambos os testes realizados com hexametáfosfato e poliacrilato de sódio (900 g/t) tenham alcançado os valores comerciais do produto comercial *pellet feed fines* (teores aproximados de 65% de Fe e 3% de SiO<sub>2</sub>), o com poliacrilato, teste 5, obteve valores mais expressivos, com valores de (66,02% Fe e 2,21% SiO<sub>2</sub>). Todavia, visto que a diferença entre os GD máximos destes reagentes, e por consequência, pureza do concentrado, foi pequena ( $\Delta GD = 1\%$ ), uma análise de custos deve ser realizada.

**Tabela 1: Análise química dos testes de separação magnética**

Teste	Reagente utilizado para a dispersão da polpa para o teste magnético				Análise Química (%)	
	pH 10,5	pH 9,5	Hexametáfosfato	Poliacrilato	Fe	SiO <sub>2</sub>
	1	Natural	-	-	-	62,88
2	x	-	-	-	64,02	3,64
3	-	x	-	-	65,06	3,16
4	Natural	-	x	-	65,91	2,73
5	Natural	-	-	x	66,02	2,21

Enquanto o preço médio por quilo do hexametáfosfato gira em torno de R\$30,00, o do poliacrilato de sódio está na faixa de R\$50,00. Dessa forma, ainda que, para este estudo de caso em específico, o último tenha apresentado melhores resultados de grau de dispersão na separação magnética, o hexametáfosfato de sódio deve ser escolhido por apresentar resultado próximo com menor custo associado.

#### 4. CONCLUSÕES

Os ensaios executados demonstraram que o rejeito avaliado com teores iniciais de 36,53% Fe e 43,64% SiO<sub>2</sub>, após concentração magnética, pode ser comercializado segundo especificações do mercado (~ 65% Fe e 3% SiO<sub>2</sub>). Para este material estudado, em específico, a deslamagem pode ser otimizada com o uso de dispersantes. Dentre as alternativas propostas, a que apresentou o melhor resultado de dispersão foi a que utilizou o poliacrilato de sódio. Entretanto, devido ao seu preço mais elevado, o hexametáfosfato de sódio foi o reagente escolhido por obter grau de dispersão similar e teor no concentrado de 65,91% Fe e 2,73% SiO<sub>2</sub>.

Visto as características de cada rejeito mineral, orienta-se que toda mina caracterize os seus próprios descartes no intuito de reaproveitá-los, diminuído, assim, os impactos ambientais relacionados aos mesmos.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao DEMIN, PPGEM e as instituições CAPES e CNPQ que proporcionaram condições financeiras para este estudo.

## 6. REFERÊNCIAS

BHAGAT, R. P; PATHAK, P.N. **The effect of polymeric dispersant on magnetic separation of tungsten ore slimes.** Mineral Processing, 1995, 47, 213-217.

GOMES, A. C. F. **Estudo de aproveitamento de rejeito de mineração.** Belo Horizonte. Curso de pós-graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e Minas da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais. p. 84, 2017. (Dissertação de mestrado).

LU, S; PUGH, R.J; FORSSBERG, E. Chapter 9 – **Magnetic co-aggregation and combined aggregation.** Studies in Interface Science. v. 20, p497-516. 2005.

PEREZ, L. A; ROE, D; POLOZZOTTI, D. Estados Unidos. **Magnetic Separation of Ores Using Sulfonated Polymers.** US 2003/ 0066787 A1, 2003.

SILVA, J. P. M. **Aplicação de separação magnética de alta intensidade (WHIMS) no beneficiamento de itabiritos pobres.** Belo Horizonte. Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e Minas. Universidade Federal de Minas Gerais, 2014. 129p. (Dissertação de mestrado).

SILVA, M. B. **Separação magnética de ultrafinos hematíticos.** Ouro Preto. Pós-graduação em Engenharia Mineral. Universidade Federal de Ouro Preto, 2012. 281p. (Dissertação de mestrado).