



CARACTERIZAÇÃO E ESTUDO DA CINÉTICA DE SEDIMENTAÇÃO DE REJEITO DA INDÚSTRIA DE MINÉRIO DE FERRO



CHARACTERIZATION AND STUDY OF THE KINETICS OF SEDIMENTATION OF REJECT OF THE IRON ORE INDUSTRY

SANTOS, Jéferson Henrique Melquíades^{1*}; SANTOS, Paulo César Melquíades¹;
VIEIRA, Flaviana Tavares¹; FABRIS, José Domingos²; REIS, Arlete Barbosa^{1,2};
SILVEIRA, João Vinícios Wirbitzki da¹

¹ Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Instituto de Ciência e Tecnologia, Curso de Engenharia Química, Rodovia MGT 367 - km 583, 5000, Campus JK, Alto da Jacuba, Diamantina - MG, Brasil (fone: +55 38 3532 1200)

² Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Programa de Pós-Graduação em Biocombustíveis, Rodovia MGT 367 - km 583, 5000, Campus JK, Alto da Jacuba, Diamantina - MG, Brasil (fone: +55 38 3532 1200)

* Autor correspondente
e-mail: jefersonhenrique00@hotmail.com

Received 27 December 2017; received in revised form 31 May 2018; accepted 31 May 2018

RESUMO

Atualmente a indústria de mineração exerce um importante papel na geração de riquezas de um país através da exploração dos recursos naturais da terra, sendo em alguns casos, responsável por significativa fração da matriz econômica. Assim como qualquer outra atividade industrial, a mineração impacta negativamente o meio ambiente, o que leva este setor a enfrentar constantemente o desafio de alcançar a sustentabilidade das suas atividades. O estudo objetivou caracterizar o rejeito de minério de ferro buscando viabilidade de reprocessamento e recuperação de água. A amostra de rejeito foi caracterizada utilizando-se Microscopia Eletrônica de Varredura com Espectrômetro de Energia Dispersiva. Realizou-se estudos da cinética de sedimentação do rejeito a fim de implementar técnicas para recuperação do ferro presente no rejeito e reciclo de água no processamento mineral. Nos ensaios de sedimentação foi possível recuperar aproximadamente 50% de água sem comprometer as operações de transporte do material. Pode-se concluir que o rejeito de minério analisado é composto majoritariamente por Fe e Si respectivamente, evidenciando que o rejeito possui potencial de reprocessamento, e recuperação da água presente no clarificado.

Palavras-chave: Rejeito de mineração, caracterização de minério, reaproveitamento de resíduos.

ABSTRACT

Currently the mining industry plays an important role in the generation of wealth of a country through the exploitation of natural resources of the earth, and in some cases, responsible for a significant fraction of the economic matrix. Like any other industrial activity, mining has a negative impact on the environment, which leads the industry to constantly face the challenge of achieving the sustainability of its activities. The study aimed to characterize the iron ore reject seeking the feasibility of reprocessing and water recovery. The reject sample was characterized using Scanning Electron Microscopy with Dispersive Energy Spectrometer. Studies of the sedimentation kinetics of the tailings were carried out to implement techniques to recover the iron present in the tailings and recycle water in the mineral processing. In the sedimentation tests it was possible to recover approximately 50% of water without compromising the transport operations of the material. It can be concluded that the ore reject analyzed is composed mainly of Fe and Si respectively, showing that the reject has reprocessing potential, and recovery of water present in the clarified.

Keywords: mining rejection, mineral characterization, rejection reuse.

INTRODUÇÃO

Atualmente a indústria de mineração exerce um papel importante na geração de riquezas de um país através da exploração dos recursos naturais, sendo em alguns casos, responsável por significativa parte da matriz econômica (ROMEIRO, 2012; LOPES, 2013; MACHADO, 1998). Conforme levantamento do IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração, a produção mineral brasileira passou de 10 bilhões de dólares em 1994 para 44 bilhões de dólares em 2013, correspondendo por aproximadamente 3% do PIB industrial e 17% das exportações brasileiras (IBRAM, 2015).

O ferro é um dos elementos mais abundantes na crosta terrestre, presente na proporção de 4,2%. Entre todos os metais o ferro é o mais produzido e o que mais está presente em nosso cotidiano (VERGARA, 2012; OLIVEIRA et al., 2013, NAVROTSKY et al., 2008). Em inúmeros minerais o ferro apresenta como componente essencial, porém somente os óxidos apresentam grandes concentrações. Os principais minerais que contêm ferro são: hematita (Fe_2O_3), magnetita (Fe_3O_4), goethita ($\alpha\text{-FeOOH}$) e siderita (FeCO_3) (YELLISHETTY et al., 2010; HIPPERTT et al., 2001; VILELA et al., 2004;). No Brasil, as formações ferríferas compostas de hematita e sílica, denominadas itabiritos, constituem os maiores depósitos de ferro (DNPM, 2013).

O potencial das reservas de minério de ferro no Brasil alcança 29 bilhões de toneladas, situando o País em quarto lugar em relação às reservas mundiais, de 160 bilhões de toneladas. Considerando-se as reservas em termos de teor de ferro, o Brasil assume destaque no cenário internacional, fato este que ocorre devido ao alto teor encontrado nos minérios hematita (60% de ferro), predominante no Pará, e itabirito (50% de ferro), predominante em Minas Gerais (IBRAM, 2011).

Segundo a Conferência das Nações Unidas para o Comércio e o Desenvolvimento (Unctad), o Brasil é o segundo maior produtor de Minério de Ferro. Sua produção em 2010 foi de 372 milhões de toneladas, o que equivale a 15% do total mundial (2,4 bilhões de toneladas) ficando atrás apenas da Austrália. A China, considerando o teor do minério extraído de seu

território, é a quarta maior produtora, com 300 milhões de toneladas (IBRAM, 2011; HIPPERTT et al., 2001; VILELA et al., 2004; YELLISHETTY et al., 2010; ATKINS e JONES, 2001).

No Brasil, os principais estados produtores em 2010 foram Minas Gerais (67%), Pará (29,3%) e outros (3,7%), sendo que as maiores empresas produtoras no Brasil são, VALE (81,7%), SAMARCO (6,6%), CSN (2,9%), MMX (1,03%), NAMISA (0,9%) e outras (6,8%) (IBRAM, 2011; Da SILVA, 2015). Cerca de 99,0% do minério de ferro produzido são utilizados na fabricação de aço e ferro fundido sendo outras aplicações nas indústrias de ferro-liga e cimento. A produção de minério de ferro no Brasil se desenvolve em minas a céu aberto. A lavra é em bancadas com desmonte por explosivos, escavadeiras, carregamento em pás carregadeiras, transporte em caminhões fora-de-estrada. O beneficiamento consiste de britagem, peneiramento, lavagem, classificação, concentração e pelotização (DNPM, 2013).

Segundo Abrão (1987), o processo de lavra e beneficiamento do minério de ferro, gera uma razão de 2:1 entre o produto final e a geração de rejeitos, que são dispostos em barragens e em pilhas estéreis. Assim como qualquer outra atividade industrial, a mineração impacta negativamente o meio ambiente, o que leva este setor a enfrentar constantemente o desafio de alcançar a sustentabilidade das suas atividades (COSTANZI, DANIEL, 2002; SIVAMOHAN, 1985).

Tendo em vista a importância das questões ambientais, hídricas e do suprimento da demanda com relação ao consumo de recursos minerais, o presente trabalho objetivou caracterizar o rejeito de minério de ferro buscando viabilidade de reprocessamento e recuperação de água, por meio da caracterização morfológica do rejeito de minério de ferro pós operação de sedimentação, avaliação da eficiência de recuperação de água no processo de sedimentação e por meio do estudo da cinética de sedimentação do rejeito de minério de ferro.

MATERIAL E MÉTODOS

A amostra de rejeito de minério de ferro

foi obtida da empresa Samarco Mineração S.A. na forma sólida (pó) após secagem, como visto na Figura 1.



Figura 1. Amostra de minério após processo de secagem em estufa a 105°C durante 24 h.

Essa amostra foi utilizada para a realização dos testes de sedimentação em proveta de 4 L. Os estudos de cinética de sedimentação foram realizados nas concentrações de 25%, 37,5% e 50% (massa de soluto/massa de solvente). Os testes foram realizados sem a adição de agentes flocculantes. As massas correspondentes a cada concentração foram colocadas em recipiente cúbico de agitação de 2 L sendo então adicionada água deionizada até o volume necessário para a concentração requerida. A polpa foi homogeneizada através de agitação utilizando-se módulo de agitação PoliControl composto por 6 jarros de acrílico. Posteriormente a homogeneização verteu-se a mistura na proveta de sedimentação descontínua e iniciou-se a marcação do tempo de sedimentação. O deslocamento da interface sólido/líquido se deu com maior velocidade na etapa inicial do teste, chamada de etapa de sedimentação livre, por isso, a altura foi anotada pelo operador em intervalos de tempos pré-estabelecidos, de 1 minuto. Ao final do ensaio, quando a maioria das partículas já sedimentou e ocorre apenas o empacotamento do leito de sólidos no fundo da proveta, percebe-se que a variação de altura da interface se dá muito lentamente, então a partir de 30 min o intervalo de tempo de observação foi aumentado, até ocorrer a estabilidade no valor da altura da região de compactação de sólidos, ou que esta varie muito pouco em um grande

intervalo de tempo. A duração total de cada teste foi de 120 minutos. O pH da solução foi medido em um pHmetro de bancada INSTRUTHERM modelo PH-2000. Ao final do teste uma amostra do líquido clarificado gerado foi coletada para análise de turbidez da mesma, em um turbidímetro portátil da PoliControl modelo AP 2000. Os ensaios foram realizados em triplicata. Um esquema do processo é visualizado na Figura 2.

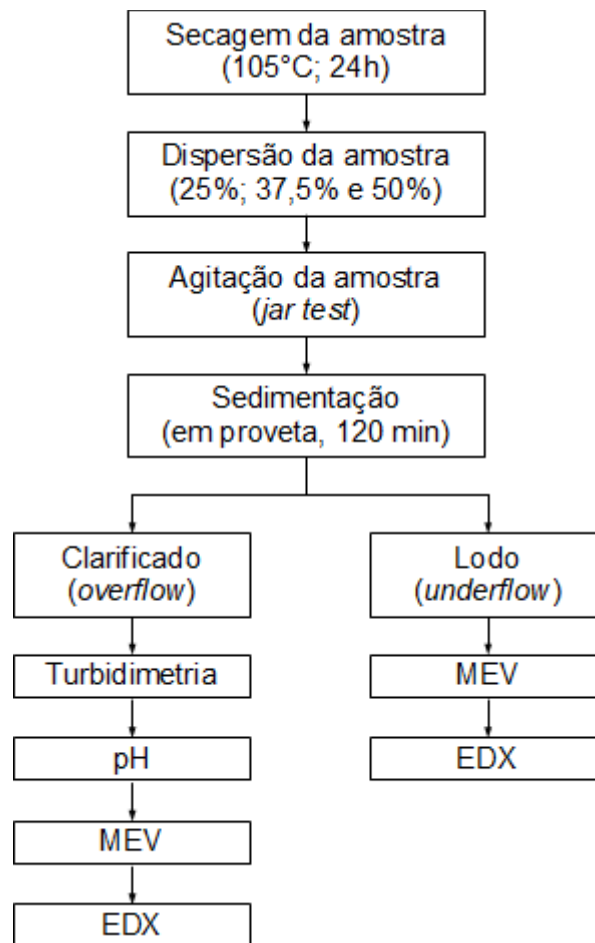


Figura 2. Fluxograma do processo de preparação e caracterização das amostras.

Com base na metodologia de Talmadge-Fitch, por meio de um ensaio de sedimentação em batelada para as condições de projeto desejadas é possível plotar uma curva de sedimentação e obter o ponto crítico da mesma (Z_c , Θ_c). O ponto crítico é determinado traçando-se uma reta tangente à curva de decantação e outra reta tangente a curva de compressão. Essas curvas são separadas pelo ponto crítico, que é também o encontro da bissetriz das duas tangentes com a curva de sedimentação. Uma vez determinado o ponto de cruzamento das duas tangentes, traça-se a tangente passando pelo ponto crítico, conforme apresentado na

Figura 3 (GUIMARÃES, 2010; BURT, 1978; GAUDIN, 1971).

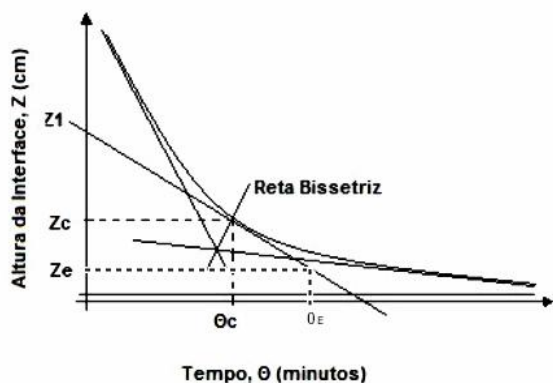


Figura 3. Curva típica de sedimentação, construção gráfica do método de Talmadge-Fitch. Fonte: Adaptada de Foust, 1982.

Por meio do gráfico construído e do ponto crítico definido, identifica-se o tempo do período de espessamento θ_E .

Foram realizadas análises morfológicas e de composição química elementar através de Microscopia Eletrônica de Varredura com Espectrômetro de Energia Dispersiva utilizando-se Microscópio Eletrônico de Varredura TESCAN modelo VEGA 3 com Espectrômetro de Energia Dispersiva acoplado. As medições de EDX foram feitas em seis pontos diferentes, escolhidos aleatoriamente, das micrografias do lodo e do clarificado. Destes pontos, foi realizado a medição do percentual mássico das composições e realizado uma média da quantidade proporcional de Fe e Si contido nas amostras.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Na Figura 4 estão apresentados os resultados de sedimentação do rejeito de minério de ferro para as distintas concentrações (25 %, 37,5 % e 50 % (m/m)).

Conforme apresentado na Figura 2 os resultados obtidos para os períodos de espessamento pelo método de Talmadge-Fitch, onde obteve-se os seguintes períodos de espessamento: 22 min, 40 min, 80 min para as concentrações de (25%, 37,5% e 50 (m/m)) respectivamente. Observou-se que quanto maior a concentração de rejeito maior o tempo necessário para o espessamento. Foi possível obter uma recuperação de água de 50%, 39% e 29% para as concentrações iniciais de (25%, 37,5% e 50% (m/m)) respectivamente. Os

resultados obtidos para a turbidez do clarificado estão apresentados conforme Tabela 1.

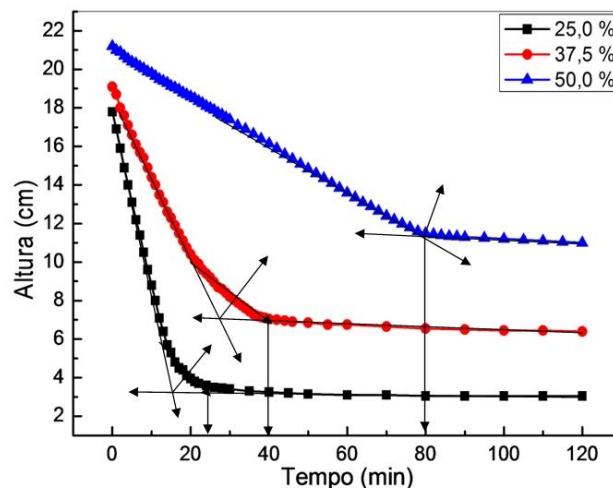


Figura 4. Resultados obtidos nos ensaios de sedimentação descontínua para distintas concentrações do rejeito.

Tabela 1. Resultados obtidos para a turbidez do clarificado.

Concentração % (m/m)	Turbidez (NTU)
25,0	69
37,5	112
50,0	100

Nas Figuras 5 e 6 são apresentadas as imagens de MEV para o lodo obtidas em ampliações de 67 e 10.000 vezes e para o clarificado 60 e 10.000 vezes.

Analisando as imagens obtidas por MEV observa-se que as partículas possuem diâmetro médio de aproximadamente 100 μm . No clarificado observa-se partículas levemente menores e menos regulares, o que sugere a presença de material orgânico.

Maiores ampliações permitem verificar um material mais homogêneo no clarificado, característica esta que provavelmente se deve ao fato de o clarificado possuir menor variabilidade em sua composição.

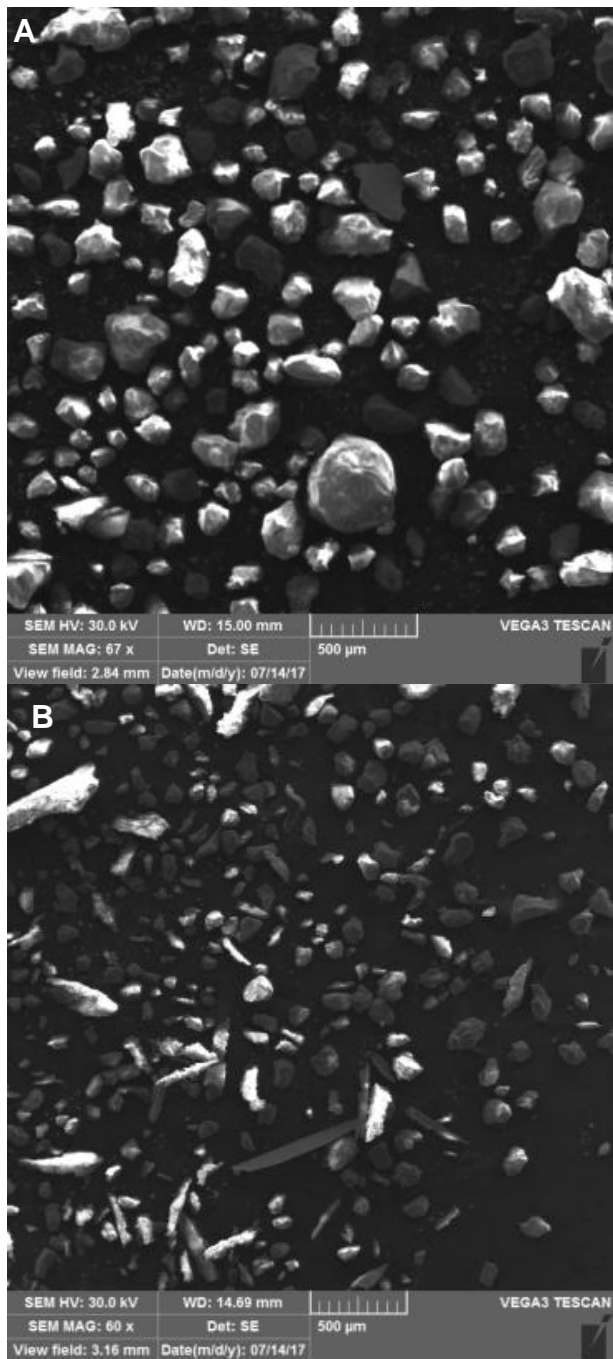


Figura 5. Imagens de MEV para (A): lodo e (B): clarificado nas ampliações de 67 e 60 vezes respectivamente.

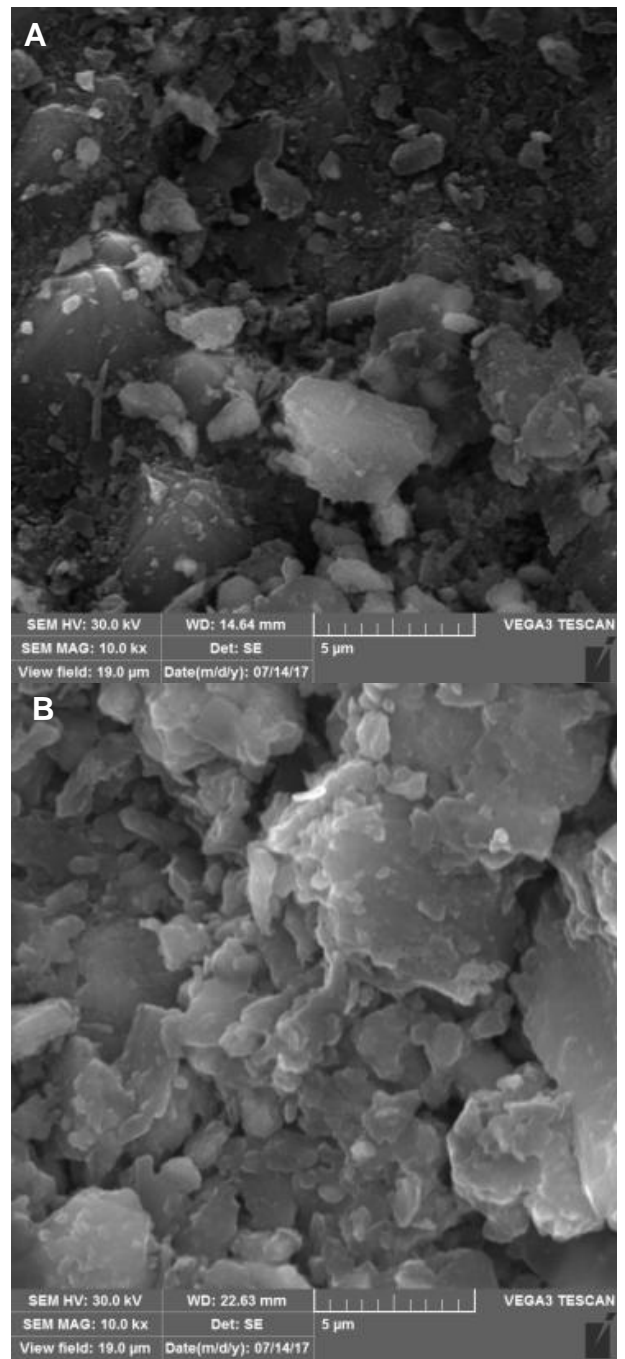


Figura 6. Imagens de MEV para (A): lodo e (B): clarificado ampliado 10000 vezes.

Os resultados obtidos na análise de EDX para o lodo e o clarificado estão apresentados nas Tabelas 2 e 3 respectivamente, onde observa-se variações na composição do material particulado que permanece em suspensão no clarificado em relação ao lodo. Enquanto que no clarificado encontrou-se uma média de 3,15:1 (p/p) de Ferro em relação ao Silício (Fe:Si), no lodo essa proporção caiu para 0,13:1 (p/p). Entretanto, ambos apresentam bastante variabilidade nos resultados.

Tabela 2. Resultados obtidos na análise de EDX para o lodo.

Elemento	% em massa
O	54,18
Al	0,58
Si	40,45
Ca	0,04
Fe	4,75
<i>Total</i>	<i>100,00</i>

Tabela 3. Resultados obtidos na análise de EDX para o clarificado.

Elemento	% em massa
O	52,87
Al	4,52
Si	9,74
Ca	3,85
Fe	29,02
<i>Total</i>	<i>100,00</i>

CONCLUSÕES:

Nos ensaios de sedimentação foi possível recuperação de aproximadamente 50 % de água sendo que para tal recuperação não foi comprometido as operações de transporte do material. Pode-se concluir que o rejeito de minério analisado é composto majoritariamente por Fe e Si respectivamente, evidenciando que o rejeito possui potencial de reprocessamento para a recuperação do ferro através de operações de separação magnética do lodo obtido na sedimentação e recuperação da água presente no clarificado através de operação de flotação.

AGRADECIMENTOS:

Os autores agradecem à UFVJM, FAPEMIG, CAPES, CNPq e ao LMMA financiado pela FAPEMIG (CEX-112-10), SECTES/MG e RQ-MG (FAPEMIG: CEX-RED-00010-14).

REFERÊNCIAS:

1. INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Informações sobre a economia mineral brasileira 2015.** Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/0005415.pdf>> Acesso em junho de 2017.
2. IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração. **Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira.** 6ª edição. 2011. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/0001455.pdf>> Último acesso em 23/07/2017.
3. DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. **Ferro/Aço.** 2013. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/3-1-2013-minerio-de-ferro-e-aco>> Último acesso em 23/07/2017.
4. ABRÃO, P.C. **Sobre a deposição de rejeitos de mineração no Brasil.** Rio de Janeiro, 1987.
5. GUIMARÃES, F. A. G. **Revisão nos métodos de dimensionamento de espessadores e comparação dos modelos industriais.** Dissertação de Mestrado. 221 f. 2010. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG-MG), 2010.
6. FOUST, A. S.; WENZEL, L. A.; CLUMP, C. W.; MAUS, L.; ANDERSON, L. B. **Princípios das Operações Unitárias.** 2ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 1982. 560 p.
7. Romeiro, A. R. Desenvolvimento sustentável: uma perspectiva econômico-ecológica. **Estudos Avançados**, vol.26, n.74, pp.65-92, 2012.

8. Lopes, R. T. R. **Mineração e Desenvolvimento: uma análise da maldição dos recursos naturais para os estados brasileiros.** Dissertação de Mestrado. UNESP, 2013.
9. MACHADO, I.F. Indústria mineral. **Estudos Avançados**, vol.12, n.33, São Paulo, 1998.
10. VERGARA, J. E. **Aplicabilidade dos Rejeitos de Mineração de Ferro para Utilização em Filtros de Barragens.** Dissertação de Mestrado. Brasília-DF, 2012.
11. YELLISHETTY, M., RANJITH, P. G., THARUMARAJAH, A. Iron ore and steel production trends and material flows in the world: Is this really sustainable? **Resources, Conservation and Recycling**, v. 54, p. 1084-1094, 2010
12. HIPPERTT, J., LANA, C., TAKESHITA, T. Deformation partitioning during folding of banded iron formation. **Journal of Structural Geology**, v. 23, p. 819-834, 2001.
13. VILELA, R. A., MELO, R. J., COSTA, T. A. V., LAGOEIRO, L. E., VARAJÃO, C. A. C. Petrografia do minério hematita compacta da mina de Tamanduá (Quadrilátero Ferrífero, MG), **Revista Escola de Minas**, v. 57, n. 3, p. 157-164, 2004.
14. OLIVEIRA, L. C. A., FABRIS, J. D., PEREIRA, M. C. Óxidos de ferro e suas aplicações em processos catalíticos: uma revisão. **Química Nova**, v. 36, n. 1, p. 123-130, 2013.
15. NAVROTSKY, A., MAZEINA, L., MAJZLAN, J. Size-Driven Structural and Thermodynamic Complexity in Iron Oxides. **Science**, v. 319, p. 1635, 2008.
16. Da SILVA, L. A. **SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE HEMATITA E DE FERRO ZEROVALENTE SINTETIZADAS A PARTIR DE CLORETO FÉRRICO.** Tese de Doutorado. UFSC: Florianópolis, 2015
17. COSTANZI, R. N., DANIEL, L. A., "Estudo de tratamento dos efluentes de uma fábrica de papel para imprimir visando o reúso por flotação e sedimentação", **Engenharia Sanitária e Ambiental**, p.156-160, 2002.
18. SIVAMOHAN, R.; FORSSBERG, E. Principles of spiral concentration. **International Journal of Mineral Processing**, vol.15, p.173-181, 1985.
19. BURT, R. O. A study of the effect of deck surface and pulp pH on the performance of a fine gravity concentrator. **International Journal of Mineral Processing**, vol. 5, p. 39-44, 1978.