



ESTUDO DO COMPORTAMENTO DIFERENCIAL DE HEMATITA E QUARTZO NA DESLAMAGEM DE MINÉRIO DE FERRO ITABIRÍTICO EM HIDROCICLONES

ALVES, L.P.¹, TAVARES, L.M.²

^{1,2}Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, COPPE

Laboratório de Tecnologia Mineral. e-mail: luciana.alves@metalmat.ufrj.br

RESUMO

Nas operações de classificação e deslamagem realizadas em hidrociclones, apesar da separação ocorrer principalmente em função do tamanho das partículas, a massa específica também exerce influência sobre o processo. Essa questão é demonstrada de forma particular no caso de minérios compostos por minerais com grandes diferenças de massa específica, como os itabiríticos, formados principalmente por quartzo e hematita. No presente trabalho, estudou-se o comportamento multicomponente das partículas de ambas as espécies minerais na operação de deslamagem de minério de ferro itabirítico realizada em hidrociclones. Para tal, realizaram-se testes em laboratório, além de usinas piloto e industrial, coletando-se amostras de alimentação, *underflow* e *overflow*, as quais foram analisadas granuloquimicamente e utilizadas na composição dos balanços de massas de cada ensaio. Por meio destes resultados, construíram-se curvas de partição total e por componente, a partir das quais pôde-se demonstrar o comportamento diferencial das partículas de acordo com a sua espécie química. Para uma condição estudada, a recuperação de hematita foi 36% superior àquela de quartzo para partículas contidas na faixa de 10 μm .

PALAVRAS-CHAVE: Deslamagem, Hidrociclone, Minério itabirítico, Multicomponente.

ABSTRACT

In the classification and desliming operations performed in hydrocyclones, although the separation occurs mainly as a function of particle size, the specific gravity also plays a role on the process. This issue is demonstrated particularly in the case of ores composed of minerals with a wide range of densities, such as itabirite iron ores, which are mainly formed by quartz and hematite. In the present work, the multicomponent behavior of the particles of both mineral species was studied in separation of an itabitic iron ore desliming operation performed in hydrocyclones. Laboratory tests were carried out in addition to pilot and industrial plants, and samples of feed, underflow and overflow were collected, which were analyzed granulochemically and used in the composition of mass balances of each test. From these results, total and component partition curves were built, from which it was possible to observe the differential behavior of the particles according to their chemical species. In a given condition studies it was found that 36% more hematite reported to the underflow than quartz for particles of about 10 μm .

KEYWORDS: Desliming, Hydrocyclone, Itabirite Ore, Multicomponent.

1. INTRODUÇÃO

Partículas minerais submetidas ao processo de classificação realizado em hidrociclones são expostas a duas forças opostas: uma centrífuga no sentido da parede do equipamento e uma de arraste que atua para dentro. A força centrífuga desenvolvida age sobre as partículas no sentido de acelerar sua taxa de sedimentação separando-as por tamanho, forma e densidade. As partículas mais grosseiras e mais densas, ou seja, aquelas que apresentam sedimentação mais rápida, se movem para a parede do hidrociclone, onde a velocidade é mais baixa, e dirigem-se para a abertura do apex, sendo descarregadas no *underflow*. Devido à ação da força de arraste, as partículas mais finas e menos densas, ou seja, que apresentam sedimentação mais lenta, movem-se para a zona de baixa pressão ao longo do eixo e são arrastadas para o fluxo *overflow* e extraídas por meio do vortex finder (Wills & Napier-Munn, 2005).

Em geral, é comum analisar o desempenho de hidrociclones presumindo que a separação é apenas função do tamanho de partícula. No entanto, em muitos casos, o minério é composto por espécies minerais com densidades muito distintas, oferecendo ao processo uma ampla distribuição. Sabe-se que nesses casos, as partículas comportam-se de maneira distinta na separação realizada em hidrociclones, apresentando inclusive, diferentes tamanhos de corte. Esse aspecto multicomponente fica muito evidenciado em circuitos de processamento de minérios de chumbo e zinco, na preparação de carvão, de cromita em minério de platina UG, cobre e cobalto, além de minérios de ferro, por exemplo (Padhi et al., 2017; Collins, 2016).

Mainza et al. (2004), demonstraram por meio do advento de um hidrociclone de três produtos, o efeito multicomponente da densidade na classificação de minério de platina do tipo UG2. Em testes industriais empregando-se hidrociclone de 600 mm de diâmetro, obtiveram um produto misto rico em sílica grosseira, que normalmente seria reportado ao *overflow*. Outra observação importante, diz respeito ao tamanho de corte, que foi mais fino para as partículas de cromita e mais grosseiro para as partículas de sílica. Utilizando misturas de magnetita e quartzo, Padhi et al. (2017) estudaram o desempenho da classificação multicomponente em hidrociclone, onde observou-se que o desempenho individual de cada componente difere significativamente daquele obtido com as misturas. Outros estudos de caráter multicomponente incluem Kawatra et al. (2004) e Palaniandy (2019).

O objetivo do presente trabalho, é analisar o comportamento multicomponente na operação de deslamagem, realizada em hidrociclone, de um minério de ferro itabirítico brasileiro, levando em consideração as principais espécies constituintes, hematita (Fe_2O_3) e quartzo (SiO_2), devido a diferença de densidade entre elas, 5,26 e 2,65, respectivamente (Dana, 1944).

2. MATERIAL E MÉTODOS

Amostras de alimentação, *underflow* e *overflow* de testes de deslamagem de minério de ferro itabirítico realizados em hidrociclone, apresentados em Alves (2019), foram utilizadas no presente trabalho. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Tecnologia Mineral da COPPE/UFRJ (LTM), em usina piloto de processamento mineral (UP2018), além de amostragens na unidade industrial de deslamagem secundária (Usina), ambas da empresa Anglo American, localizada em Conceição do Mato Dentro, MG.

2.1 PARÂMETROS OPERACIONAIS

Os testes LTM foram realizados em hidrociclones de 67,1 mm de diâmetro; os testes UP2018 em hidrociclones de 101,6 mm, sendo esse o mesmo diâmetro dos hidrociclones instalados na usina industrial. Combinações de diferentes diâmetros de *apex* e *vortex finder*, porcentagens de sólidos e pressões de admissão foram estudadas de forma a abordar diversas condições dentro do cenário planejado e respeitando questões operacionais, as quais são apresentadas na Tabela 1, onde razão cônica dá-se pela razão entre os diâmetros do *apex* e do *vortex finder*.

Tabela 1 – Parâmetros operacionais utilizados nos testes de deslamagem

Local	Teste	Diâmetro (mm)			Razão cônica	% sólidos (m/m)	Pressão (kPa)
		Apex	Vortex finder	Inlet			
LTM	1	12	18	21	0,67	5,27	51,7
	2	12	18	21	0,67	18,75	51,7
	3	6	20	25	0,30	10,70	206,8
	4	9	20	25	0,45	12,40	206,8
UP2018	5	22	40	25	0,55	8,56	103,4
	6	16	25	25	0,64	10,16	103,4
Usina	7	16	41	25	0,40	6,80	206,8

2.2 ANÁLISES DAS AMOSTRAS

Separadamente por teste e produto (*underflow* e *overflow*), mediram-se as massas de polpa, filtraram-se em filtro a vácuo, secaram-se em estufa e mediram-se as massas secas. Quartearam-se as amostras secas, em quarteador Jones, para obtenção das alíquotas utilizadas nas análises seguintes.

Por peneiramento a úmido utilizando-se peneiras da série Tyler, obtiveram-se as seguintes faixas granulométricas: -75+53; -53+38; -38+25; -25+20; -20 μm . Além de uma alíquota global, cada faixa de tamanho de partículas foi analisada individualmente em um espectrômetro de fluorescência de raios-X (modelo EDX-720, da marca Shimadzu), para a determinação de granuloquímica das espécies Fe_2O_3 e SiO_2 .

As distribuições granulométricas foram medidas por difração a laser (granulômetro modelo Mastersizer 2000, da marca Malvern Instruments). As massas específicas das amostras globais de alimentação, *overflow* e *underflow*, foram medidas em um picnômetro a gás (modelo AccuPyc 1340 da marca Micromeritics).

As porcentagens de sólidos (m/m) foram dadas pela razão entre as massas de sólidos seco e de polpa. Os dados de massa específica obtidos nas análises, junto às porcentagens de sólidos (% S_m) calculadas, foram utilizados para a determinação das massas específicas de polpa.

Em cada teste, multiplicando-se a massa específica da polpa (t/m^3) por sua vazão volumétrica (m^3/h), obteve-se vazão mássica de polpa (t/h), que multiplicada pela porcentagem de sólidos (m/m) da polpa, resultou na vazão mássica de sólidos (t/h). Determinou-se a vazão mássica de água pela diferença entre as vazões mássicas de polpa e

de sólidos. Para a determinação das vazões das alimentações, considerou-se a soma das vazões de *underflow* e *overflow* em cada um dos testes individualmente.

Os resultados obtidos para as vazões, porcentagens de sólidos, distribuições granulométricas e teores (global e por faixa de tamanho de partículas), foram balanceados usando o *software* JKSimMet. Os dados reconciliados foram utilizados na construção de curvas de partição para o *underflow* total e por componente. A curva total é dada pela partição para o *underflow* (fração de sólidos da alimentação que reportou ao *underflow*, por faixa granulométrica) em função do tamanho de partícula (tamanho representativo de cada faixa de tamanho utilizada). As curvas por componente, assim como a curva total, são dadas pelas frações de Fe₂O₃ e de SiO₂ da alimentação que reportaram ao *underflow*, em função dos tamanhos representativos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos nas análises referentes a cada conjunto de amostras demonstraram respostas similares quanto à tendência de um comportamento diferencial entre partículas de sílica e hematita na operação de deslamagem realizada em hidrociclones. Nesse contexto, apresenta-se as observações pertinentes a um dos conjuntos de amostras, sendo este de um hidrociclone da deslamagem secundária de minério itabirítico em uma unidade industrial (Teste 7).

A distribuição granulométrica das partículas da alimentação, *overflow* e *underflow* é apresentada na Figura 1. Relaciona-se as curvas experimentais, que dizem respeito ao peneiramento realizado para obtenção das alíquotas para análise granuloquímica, e as curvas balanceadas, referentes aos resultados da difração de raios laser reconciliados. Como a representatividade da caracterização química por faixa de tamanho é dependente da eficiência do peneiramento, pode-se afirmar, pela proximidade dos resultados obtidos nas duas técnicas, que os teores estudados caracterizam bem as partículas de acordo com seus respectivos tamanhos geométricos.

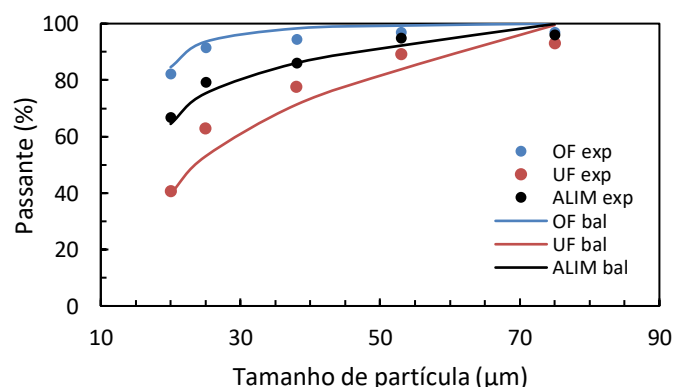


Figura 1 – Distribuição granulométrica do *overflow* (OF), *underflow* (UF) e alimentação (ALIM) por peneiramento (exp) e por difração de raios laser com dados balanceados (bal)

Na Tabela 2 é mostrado o balanço de massas total do teste. São apresentadas as vazões de sólidos e de água, além da porcentagem de sólidos em massa. Cerca de 43% da massa de sólidos alimentada por hora reporta ao *underflow* e, os 57% restantes, ao *overflow*. A recuperação calculada de água para o *underflow* é de 9%, assim, 91% da água alimentada é

recuperada no *overflow*. A alimentação é realizada em uma polpa bastante diluída, com cerca de 6,8% em massa de sólidos, bem característica a uma operação de deslamagem.

Tabela 2 – Balanço de massas total

	Alimentação	Underflow	Overflow
Sólidos (t/h)	1,89	0,81	1,08
Água (t/h)	25,94	2,37	23,57
%Sólidos (m/m)	6,8	25,50	4,38

A Figura 2 apresenta os teores globais de Fe_2O_3 e SiO_2 na alimentação, *underflow* e *overflow*. O maior teor de Fe_2O_3 foi obtido no *underflow*, enquanto que o maior teor de SiO_2 foi obtido no *overflow*. Contudo, observa-se que, em ambos os casos, não houve enriquecimento expressivo, uma vez que esses teores não são discrepantes aos da alimentação. Observa-se ainda que no *overflow* os teores das duas espécies são próximos, mas no *underflow* são significativamente distintos. Essas observações podem ser melhor exploradas nos resultados de análises granulométricas, apresentados na Figura 3.

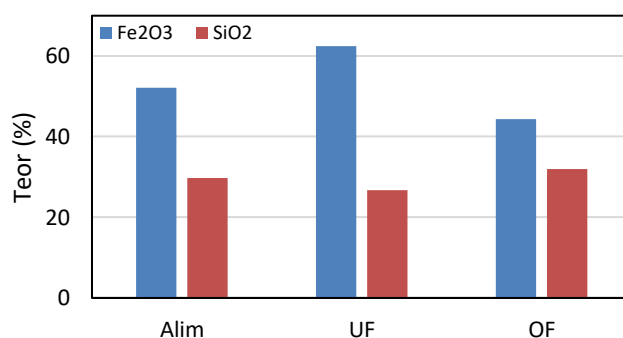


Figura 2 – Teores globais de Fe_2O_3 e SiO_2

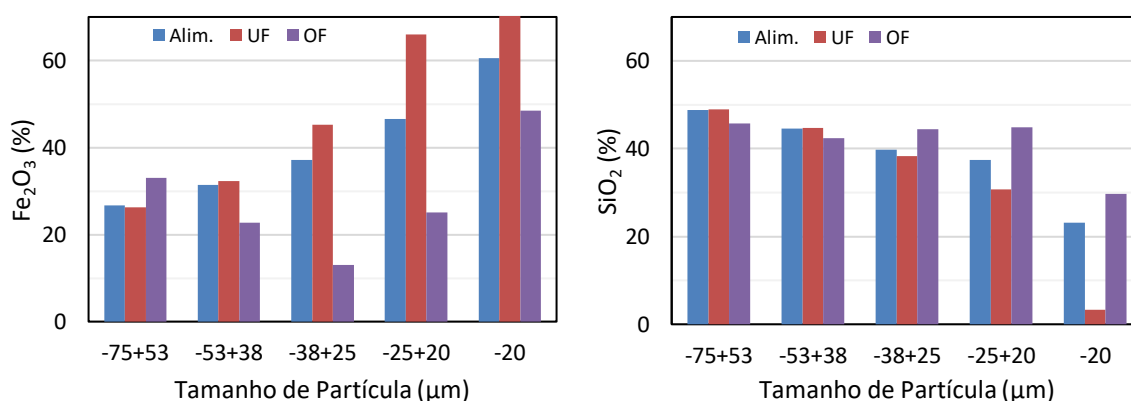


Figura 3 – Teores de Fe_2O_3 e SiO_2 na alimentação e produtos, por faixa granulométrica

Nas faixas mais grossas da alimentação (-75+38 μm) aparecem os maiores teores de SiO_2 e a recuperação dessa espécie para ambos os produtos ocorre de forma equivalente, uma vez que os teores são similares. Na faixa intermediária (38+25 μm), o teor das duas espécies na alimentação é similar. Observa-se ainda o menor teor de Fe_2O_3 no *overflow* dentre todas as faixas analisadas. Na faixa abaixo de 20 μm , observa-se o mais alto teor de Fe_2O_3 na

alimentação dentre as faixas analisadas. Essa mesma observação estende-se tanto ao *underflow* quanto ao *overflow*. Constata-se ainda que nessa faixa a alimentação apresentou o menor teor de SiO_2 e que essa espécie foi majoritariamente recuperada no *overflow*, já que seu teor no *underflow* é baixíssimo.

Na Figura 4 são apresentadas as curvas de partição total e por componente (SiO_2 e Fe_2O_3), referentes a porcentagem de recuperação de sólidos, em massa, para o *underflow*, em função do tamanho de partícula. Primeiramente observa-se o afastamento entre as três curvas para as faixas inferiores a, aproximadamente, $40\ \mu\text{m}$. Essa faixa de tamanhos justifica-se pela distribuição granulométrica do *underflow*, que apresenta d_{80} de aproximadamente $41\ \mu\text{m}$.

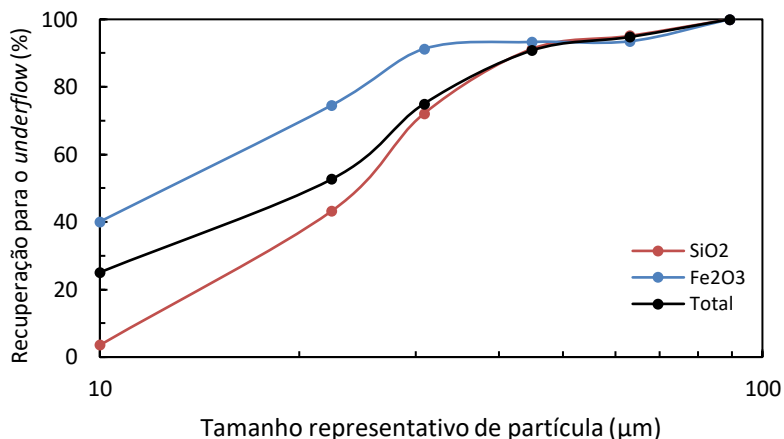


Figura 4 – Curvas de partição total e por componente (teste 7)

Devido às limitações do peneiramento, pelas faixas possíveis de serem analisadas é razoável tratar-se apenas do d_{50} real da operação. Nas condições estudadas, o tamanho de corte da hematita (Fe_2O_3) foi de cerca de $14\ \mu\text{m}$, do quartzo (SiO_2) de $24\ \mu\text{m}$, enquanto que o total foi de $21\ \mu\text{m}$. Essas diferenças demonstram o comportamento diferencial das espécies na operação, logicamente não previsto por uma curva total, já que esta assume as partículas como uma mistura. Nesse caso, observa-se aumento na recuperação de hematita em cerca de 50% a medida em que aumenta-se o tamanho das partículas, em uma faixa entre 10 e $30\ \mu\text{m}$. Nessa mesma faixa, o aumento foi de cerca de 71% na recuperação de quartzo, que, diferentemente da hematita, tem recuperação extremamente baixa de partículas próximas a $10\ \mu\text{m}$ (cerca de 3,5%).

Nas Figuras 5 e 6 são apresentadas as curvas de partição total e por componente dos demais testes realizados. Em todos os casos, observa-se a tendência do comportamento diferencial entre as partículas de hematita e quartzo, sendo possível constatá-lo mesmo sob a influência de diferentes variáveis de operação. Pelo apresentado na Figura 5, verifica-se que as diferentes porcentagens de sólidos (m/m) na alimentação (5,27% no teste 1 e 18,75% no teste 2) geraram baixa influência nas recuperações obtidas. Contrário a isso, na Figura 6 observa-se que as razões cônicas aplicadas afetaram significativamente as recuperações obtidas, de modo que, para partículas de $10\ \mu\text{m}$, variando-se apenas as razões cônicas, a diferença entre a recuperação de hematita e quartzo chegou a 31% no teste 3 (razão cônica de 0,30) e 13% no teste 4 (razão cônica de 0,45).

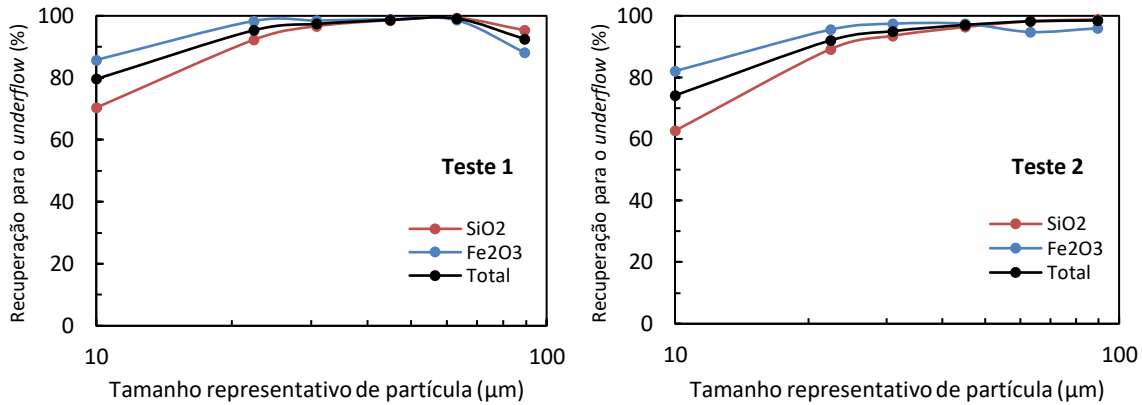


Figura 5 – Curvas de partição total e por componente com variação da porcentagem de sólidos (m/m) na alimentação: teste 1 (5,7%) e teste 2 (18,75%), ambos realizados no LTM, em hidrociclone de 67,1 mm de diâmetro

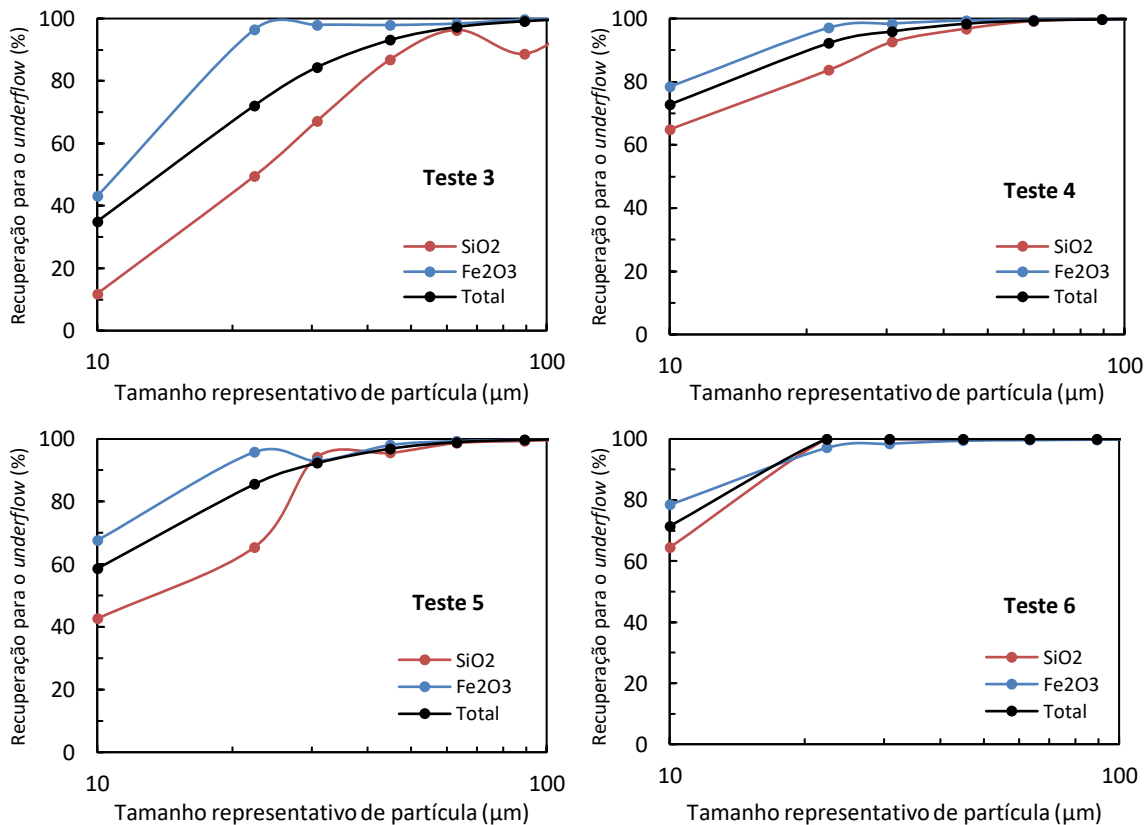


Figura 6 – Curvas de partição total e por componente com razões cônicas diferentes: testes 3 (0,30) e 4 (0,45) e testes 5 (0,55) e 6 (0,64), realizados na UP2018 em hidrociclones de 101,6 mm de diâmetro

No caso da deslamagem, o efeito da densidade na separação implica em uma maior chance que partículas finas de hematita reportem ao *underflow*, o qual usualmente alimenta o processo de flotação, enquanto partículas mais grossas de quartzo reportem ao *overflow*, o qual é normalmente disposto em bacias de sedimentação. Presumindo que os finos ricos em hematita provavelmente não apresentam um comportamento deletério na flotação, o reporte das partículas mais grossas de quartzo para o *overflow* pode ser considerado vantajoso, pois auxilia o processo de concentração. Assim, o efeito da densidade pode ser considerado até desejável na operação de deslamagem de minérios de ferro itabiríticos.

4. CONCLUSÕES

Conclui-se, pelos resultados apresentados neste trabalho, sobre a tendência de um comportamento diferencial de partículas de hematita e sílica em uma operação de deslamagem de minério de ferro itabirítico em hidrociclones. Na operação industrial, a recuperação de partículas de hematita e de sílica no *underflow* pode diferenciar-se cerca de 36% em 10 μm e 16% em 30 μm .

Nas faixas mais finas, a recuperação de ambas as espécies é maior no *overflow*, mas em maior proporção para a sílica, ou seja, para um mesmo tamanho de partícula nas faixas mais finas, recupera-se mais sílica do que hematita.

À medida em que aumenta o tamanho das partículas, a recuperação torna-se mais propensa ao *underflow*, mas de forma mais acentuada para a hematita, ou seja, para um mesmo tamanho de partícula nas faixas mais grossas (até 40 μm), recupera-se mais hematita do que quartzo.

Essas constatações evidenciam que, considerando partículas de um mesmo tamanho, e desconsiderando fatores como sua forma, por exemplo, a diferença de densidade entre elas pode atuar no processo no sentido de favorecer a recuperação de sílica no *overflow* e de hematita no *underflow*, que, através de ajustes operacionais poderiam tornar o processo atuante como uma etapa de pré-concentração industrial, oferecendo um produto mais “limpo” à flotação.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às equipes técnicas da Anglo American e do LTM, pelo empenho na realização de testes e análises.

6. REFERÊNCIAS

- Alves LP. Calibração do modelo Narasimha-Mainza à deslamagem de minério de ferro itabirítico em hidrociclones. [Dissertação de Mestrado]. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro; 2019.
- Collins A-R. Classification of Multi-Component Feeds in a Hydrocyclone. [Tese de Doutorado]. University of Queensland, Brisbane; 2016.
- Dana ES, Ford WE. Dana's manual of mineralogy. 15 ed. Nova York: John Wiley & Sons; 1944.
- Kawatra SK, Eiseli TC, Walqui HJ. Optimization of Comminution Circuit Throughput and Product Size Distribution by Simulation and Control. Quarterly Technical Progress Report. Michigan Technological University, Houghton; 2004.
- Mainza A, Powell MS, Knopjes B. Differential classification of dense material in a three-product cyclone. Minerals Engineering 2004; (17);573-579.
- Padhi M, Crasta J, Narasimha M, Mainza AN, Sreenivas T. Multi-Component Classification Model For A Hydrocyclone. In: European Symposium on Comminution and Classification; 2017Sep 11-14; Seferihisar, Turquia.
- Palaniandy S, Halomoan R, Ishikawa H. TowerMill circuit performance in the magnetite grinding circuit – the multicomponent approach. Minerals Engineering 2019; (133);10-18.
- Wills Ba, Napier-Munn T. Wills' Mineral Processing Technology: an introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral recovery. 7a ed. Brisbane: Butterworth-Heinemann; 2005.