



SOLUÇÕES ALTERNATIVAS PARA A SUBSTITUIÇÃO DA ÁGUA NA DESAGREGAÇÃO E LAVAGEM DE SUBSTÂNCIAS MINERAIS

CAETANO, A.C.¹, CINTRA, A.P.², SALES, C.G.³,

¹Faculdades Kennedy, Departamento de Engenharia de Minas, Laboratório de tratamento de minérios. e-mail: eng.anecaetano@gmail.com

²Faculdades Kennedy, Departamento de Engenharia de Minas, Laboratório de tratamento de minérios. e-mail: avneer1@hotmail.com

³Compania Siderúrgica Nacional – CSN, Mineração Casa de Pedra, Gerência de Desenvolvimento de Negócios. E-mail: cristiano.sales@csn.com.br

RESUMO

A utilização de água no processamento de minérios tem elevada importância, devido sua função de lavagem e transporte. Em contrapartida, a recuperação de água nos processos ainda é vista como um grande desafio, principalmente tratando-se da filtragem de rejeitos, método ainda pouco eficiente e de elevados custos. Este trabalho propôs investigar os efeitos da utilização de ar comprimido na desagregação e peneiramento de amostras de itabirito friável e rejeitos, o que classicamente é realizado com água. As amostras são provenientes da mina de Casa de Pedra da empresa CSN e inicialmente foram caracterizadas e peneiradas a úmido, para obtenção da curva de distribuição granulométrica de referência. Em seguida, diversos testes com ar comprimido foram realizados, variando a malha de peneiramento, pressão de ar, até inclusão de esferas de aço sobre a superfície da peneira como forma de se acelerar a desagregação das partículas mais aderidas. Os testes mostraram que o peneiramento com ar comprimido para itabiritos friáveis, e ar comprimido combinado com esferas de aço no peneiramento de rejeito, gerou resultados de eficiência e partições de massa muito próximos aos testes padrões, indicando assim ser uma solução alternativa com grande potencial, que ainda deve ser melhor explorada.

PALAVRAS-CHAVE: ar comprimido, desagregação, peneiramento, processo alternativo.

ABSTRACT

The use of water in mineral processing is of high importance due to its washing and transportation function. On the other hand, water recovery in the processes is still seen as a big challenge, mainly treated with reject filters, still inefficient method and high costs. This work proposes to investigate the effects of the use of the tablet on the breakdown and sieving of fragile and discarded cigarette bottles, or that is classically performed with water. The samples are taken from CSN's Casa de Pedra mine and were characterized and wet sieved for analysis of the reference particle size distribution curve. Several tablet tests were then performed, including screening mesh variation, air pressure, and even the inclusion of steel balls on the sieve surface to accelerate the breakdown of the most adherent strips. Tests show that sieving is compressed to friable itabirites, and the tablet is combined with steel balls without rejection sieving, yielding efficiency results and mass partitions very close to the test tests, thus being an alternative way with great potential. that should be further explored.

KEYWORDS: compressed air, disintegration, sieving, alternative process.

1. INTRODUÇÃO

A mineração é a atividade responsável pela extração dos recursos para sobrevivência da humanidade. Sendo esses recursos raramente encontrados em condições naturais de serem aplicados diretamente na cadeia produtiva. O mineral-minério (substância de interesse) é encontrado associado a outros minerais, necessitando de beneficiamento para obtenção do componente de interesse com o maior teor possível. Para tanto, o material passa por etapas de britagem, moagem, peneiramento, classificação e concentração. Com exceção da britagem, todas as demais etapas são comumente realizadas a “úmido” (minério na forma de “polpa”), devido a diversos fatores, como o transporte do material ao longo da planta, mitigação de poeiras, dependência das tecnologias tradicionais de processamento e a necessidade da “lavagem” de partículas ultrafinas aderidas na superfície das partículas maiores (CHAVES, 2003).

A necessidade de água na mineração tem se tornado um entrave aos projetos correntes e futuros devido a grandes tragédias ocorridas com rompimentos de barragens, além do fato de muitas jazidas se encontrarem em lugares que não dispõem de recursos hídricos abundantes. Isso tem dificultado o licenciamento de novas barragens e outorga para captação de água nova, tornando-se inviável, em alguns casos, a extração do minério. Segundo Luz (2010), após o minério ser processado a úmido, o rejeito, na maioria das vezes, com alta porcentagem de água é armazenado nas barragens. Com isso, pesquisas têm sido realizadas para minimizar ou cessar o uso da água no beneficiamento mineral e por consequência a necessidade de barragens de rejeitos. Este aspecto direciona cada vez mais às pesquisas e desenvolvimento tecnológico no âmbito do desaguamento de rejeitos e posterior disposição em pilhas e até mesmo o surgimento de rotas propondo o processamento de minérios a seco, como é o caso do que foi desenvolvido pela empresa New Steel (NEW STEEL, 2019).

Tratando-se do processamento a seco, esta iniciativa se torna onerosa, na maioria dos casos, uma vez que requer alto investimento em câmaras de secagem, demandando alto consumo energético. Quanto ao adensamento de rejeitos, grandes empresas de mineração, tais como a CSN e Vallourec Mannesman, têm iniciado a utilização de equipamentos como espessadores deep cone e filtros prensa. No entanto, por ser uma experiência extremamente nova, ainda requer um grande processo de aprendizagem, desenvolvimento e novas pesquisas, conforme afirma Guimarães (2011).

Com o intuito de se mitigar a utilização de água no beneficiamento de minérios de ferro, foram investigadas formas de processos alternativos aos convencionais, com vistas, principalmente, à eliminação da necessidade de adição de água no processo de beneficiamento e por consequência, eliminação do uso de barragens de rejeitos. Este trabalho, portanto, pretende ser precursor na avaliação destes métodos alternativos, verificando a performance de peneiramento de amostras de minério de ferro na umidade natural, utilizando-se como principal agente de limpeza e desagregação das partículas o próprio ar atmosférico sob pressão, em detrimento da água.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram selecionadas duas amostras para este trabalho, todas provenientes da mina Casa de Pedra da Companhia Siderúrgica Nacional em Congonhas-MG. A primeira foi uma amostra de itabirito friável, extraída da própria cava da mina, a segunda uma amostra de rejeito compactado e drenado extraído da barragem B4. Fez-se a caracterização de ambas as

amostras, determinando a umidade, densidade real e aparente, além da distribuição granulométrica, via peneiramento a úmido.

Após a etapa de caracterização, a amostra de itabirito foi inicialmente britada abaixo de 3mm e peneirada em uma única condição. Iniciou-se os testes em malha de 1,0mm, com tempo de peneiramento total de 10min (divididos em dois intervalos de 5min). O passante neste teste foi direcionado para um novo peneiramento em malha de 0,3mm, com o mesmo tempo de peneiramento. Estes dois peneiramentos foram realizados com pressão de ar igual a 40PSI. Para fins também de comparação foi realizado mais um peneiramento a umidade natural sem a utilização do ar comprimido.

Para os testes com a amostra de rejeito houve a necessidade de se executar seis condições de peneiramento com ar comprimido, devido à maior dificuldade, notada desde o princípio, na desaglomeração deste material. Isto pode ser observado na inclusão de esferas de aço sobre a superfície das peneiras, com fins de acelerar a desaglomeração e peneiramento do material. Cada teste foi dividido em 2 estágios de 5min. A Tabela 1 apresenta os diferentes parâmetros empregados em cada condição.

Tabela 1. Parâmetros de cada condição testada na amostra de rejeito

Condição	1	2	3	4	5	6
Tempo de peneiramento em cada estágio (min)	5	5	5	5	5	5
Abertura das telas (mm)	0,15	0,15	0,15	4,75; 0,60 e 0,15	4,75; 0,60 e 0,15	4,75; 0,60 e 0,15
Pressão máxima do ar (PSI)	40	40	60	60	60	60
Diâmetro das esferas (mm)	9,5	9,5	9,5	20,0 e 9,5	20,0 e 9,5	20,0 e 9,5
Desagregação Preliminar*	NÃO	NÃO	NÃO	SIM	SIM	SIM
Quantidade de esferas 1° estágio	150	75	100	100	100	100
Quantidade de esferas 2° estágio	75	75	100	100	100	100
Observações				1° teste com desagregação preliminar	Peneiras enclausuradas	Peneiras enclausuradas e vedadas

*Desagregação Preliminar dos torrões maiores: 3 min de peneiramento em peneiras de 4,75 e 0,60mm. 20 esferas de 20mm na peneira de 4,75 mm e 100 esferas de 9,5mm na peneira de 0,60mm.

A avaliação dos resultados de cada teste e condição teve como principal alvo os resultados obtidos via peneiramento a úmido, denominado aqui como condição padrão. O peneiramento a úmido foi realizado com tempo de 10min, e lavagem de água suficiente para retirada dos finos nas malhas maiores, conforme cita Valadão (2008).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta os resultados da caracterização da amostra de itabirito friável britada abaixo de 3,0mm (peneiramento a úmido - condição padrão e peneiramento com ar comprimido nas condições apresentadas no tópico anterior).

Tabela 2. Resultados da caracterização da amostra de itabirito friável e ensaios com peneiramento a úmido e umidade natural com ar comprimido.

Umidade	8,49%									
Densidade Aparente (g/cm ³)	2,17									
Densidade Real (g/cm ³)	3,55									
Granuloquímica – Peneiramento a úmido										
Faixas (mm)	% Passante acumulado	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%Mn	%P	%CaO	%MgO	%TiO ₂	%PPC
1,00	84,13	62,22	10,25	0,380	0,104	0,033	0,015	0,051	0,013	0,720
0,15	60,29	57,43	16,71	0,420	0,089	0,033	0,006	0,060	0,016	0,240
0,00	0,00	34,90	47,99	0,960	0,113	0,038	0,015	0,004	0,008	1,310
Global		44,61	34,54	0,739	0,106	0,036	0,013	0,025	0,011	0,961
Granuloquímica – Peneiramento com ar comprimido										
Faixas (mm)	% Passante acumulado	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%Mn	%P	%CaO	%MgO	%TiO ₂	%PPC
1,00	72,63	55,68	18,57	0,770	0,139	0,042	0,009	0,079	0,017	1,180
0,30	57,69	56,67	16,41	0,950	0,151	0,048	0,012	0,103	0,014	1,050
0,00	0,00	33,89	49,62	0,60	0,07	0,03	0,01	0,01	0,01	0,80
Global		43,26	36,16	0,699	0,103	0,034	0,011	0,044	0,013	0,941

O gráfico da Figura 1 ilustra de forma comparativa as duas curvas granulométricas dos resultados dos ensaios anteriores, bem como a curva granulométrica gerada a partir do peneiramento a umidade natural sem ar comprimido (“tal qual”).

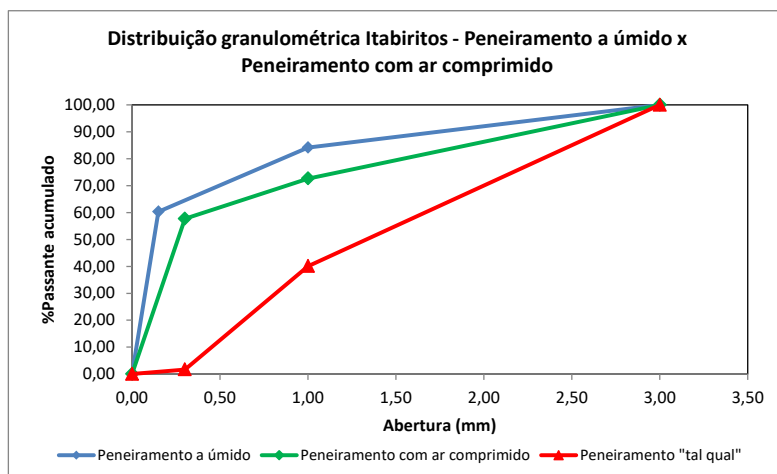


Figura 1. Distribuição granulométrica do peneiramento de itabirito friável nas três condições: a úmido, com ar comprimido e “tal qual”.

Inicialmente, vale notar que a malha de 0,15mm não foi utilizada nos peneiramentos a umidade natural devido à dificuldade observada no início dos testes. Para tanto, optou-se em realizar o peneiramento na malha de 0,3mm, por ser acima e mais próxima da malha de 0,15mm. Observa-se dos resultados anteriores que a injeção de ar comprimido durante o peneiramento, foi fundamental para a aproximação da curva granulométrica com o

resultado padrão. O peneiramento “tal qual” praticamente não gerou massa abaixo da malha de 0,3mm, enquanto o peneiramento com ar comprimido gerou 57,69%, relativamente próximo da curva do peneiramento a úmido, que gerou 60,29% passante na malha de 0,15mm. Na malha de 1,0mm a diferença entre o peneiramento com ar comprimido foi de 11,5pp abaixo do peneiramento a úmido. As químicas das frações +1,0mm e -1+0,15mm (a úmido) e -1+0,3mm (ar comprimido) ficaram relativamente próximas. A Figura 2 ilustra imagens da amostra de itabirito antes e depois de cada peneiramento com ar comprimido, onde se torna notória a qualidade da limpeza do material fino aderido em cada processo.

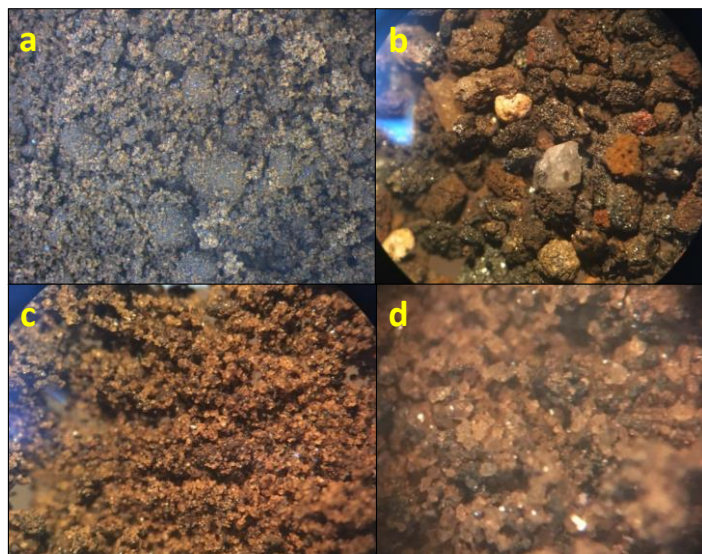


Figura 2. (a) Imagem da amostra antes do peneiramento em 1,0mm (4x). (b) Imagem do material retido na malha de 1,0mm (4x). (c) Imagem do material antes de alimentar o peneiramento em 0,3mm (4x). (d) Imagem do material retido na malha de 0,3mm (4x).

A Tabela 3 exibe os resultados obtidos na etapa de caracterização da amostra de rejeito que foi submetida aos testes.

Tabela 3. Resultados da caracterização da amostra de rejeito

Umidade	11,35%									
Densidade Aparente (g/cm ³)	1,9									
Densidade Real (g/cm ³)	2,52									
Distribuição granulométrica real		Granuloquímica								
Faixas (mm)	% Passante acumulado	%Fe	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%Mn	%P	%CaO	%MgO	%TiO ₂	%PPC
1,00	99,14	27,11	56,26	2,55	0,38	0,04	0,04	0,09	0,15	2,12
0,30	98,15									
0,15	94,97	31,50	50,00	2,40	0,12	0,05	0,04	0,07	0,05	2,01
0,075	69,93									
0,045	56,27									
0,000	0,00	40,26	35,11	3,36	0,61	0,09	0,11	0,09	0,37	2,94
Global		37,82	36,04	2,75	0,406	0,068	0,080	0,075	0,227	2,321

A Figura 3 ilustra imagens que representam o teste da condição 6.



Figura 3. (a) Imagem antes da desagregação preliminar com tela de 4,75mm. (b) Imagem depois da desagregação preliminar com tela de 4,75mm. (c) Enclausuramento do sistema no peneiramento em 0,15mm.

A desagregação preliminar em malha de 4,75mm, e inclusão de esferas de aço de diâmetro de 20mm foi fundamental para a desagregação dos maiores “torrões” presentes em grande proporção na amostra de rejeito original. O enclausuramento e vedação das peneiras, além de evitar perdas, evitaram também contaminações granulométricas entre as diferentes frações. A Figura 4 apresenta imagens de lupa (aumento de 4x) da alimentação e material retido na peneira de 0,15mm no peneiramento da condição 6.



Figura 4. (a) Imagem da alimentação do peneiramento da condição 6 antes da desagregação preliminar (4x). (b) Imagem do material retido no 1º estágio do peneiramento da condição 6 (4x). (c) Imagem do material retido no 2º estágio do peneiramento da condição 6 (4x).

A Figura 5 apresenta os principais resultados dos testes das 6 condições com a amostra de rejeito, ao mesmo tempo comparando-se com os resultados da amostra padrão. Os parâmetros avaliados foram a partição da fração +0,15mm após o peneiramento e os teores de Fe nas frações +0,15mm e -0,15mm. A maior quantidade de passante no teste da condição 6 pode se explicada pela degradação sofrida em função do atrito com as esferas de aço submetidas também ao peneiramento. Nesta condição foi realizada uma degradação preliminar com 100 esferas de 20mm nas malhas de 4,75mm e 0,6mm, seguido por 2 estágios de 5min de peneiramento na malha de 0,15mm, utilizando 100 esferas de 9,5mm, em cada estágio. O encaixe das peneiras com o fundo também foi integralmente vedado e todo o peneirador enclausurado com a finalidade de se evitar perdas e contaminações. Os teores químicos de cada fração foram muito parecidos com a condição padrão. %Fe na

fração +0,15mm: Padrão (27,11%Fe) e Condição 6 (29,29%Fe); %Fe na fração -0,15mm: Padrão (39,56%Fe) e Condição 6 (39,20%Fe).

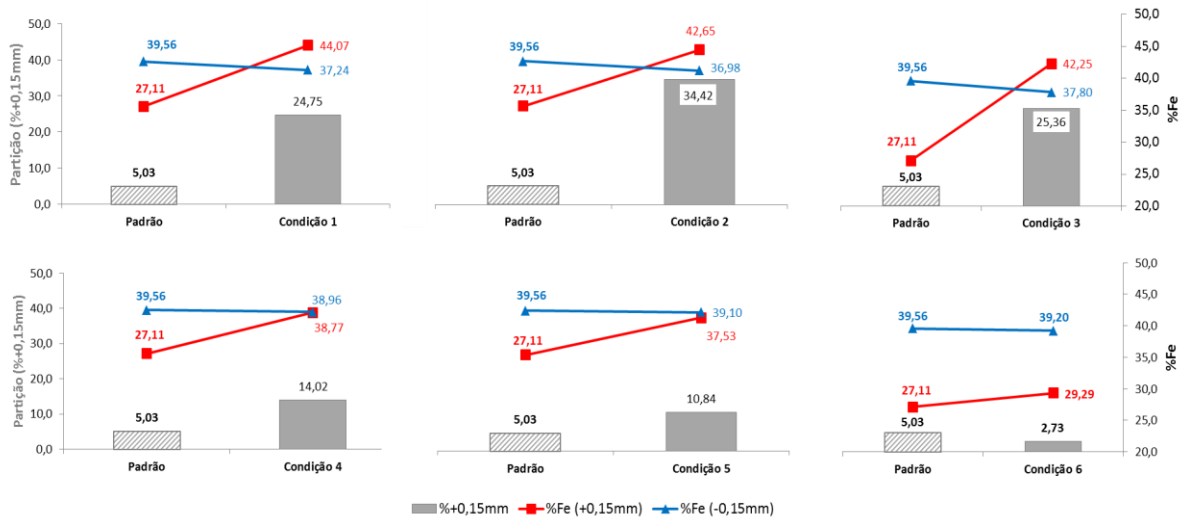


Figura 5. Resultados das 6 condições testadas com a amostra de rejeito.

Percebe-se que a condição 6 foi a que mais se aproximou da condição padrão através de todos os parâmetros avaliados. Partição %+0,15mm: Padrão (5,03%) e Condição 6 (2,73%); %Fe na fração +0,15mm: Padrão (27,11%Fe) e Condição 6 (29,29%Fe); %Fe na fração -0,15mm: Padrão (39,56%Fe) e Condição 6 (39,20%Fe). Observa-se ainda que a condição 6, além de ter gerado uma alta eficiência de peneiramento (se comparado com o teste padrão), gerou também mais massa passante. Isto pode ser explicado principalmente pela degradação que as partículas sofreram a partir do atrito com as esferas durante o processo. Isto evidencia que a utilização de esferas deva ser realizada com um controle mais apurado e seu dimensionamento (quantidade e tamanho das esferas) deve ser mais bem investigado.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos evidenciaram que o peneiramento com ar comprimido, combinado ou não com um conjunto de esferas de aço inseridas na camada de material, pode ser uma solução alternativa ao peneiramento a úmido dentro das condições testadas. As curvas granulométricas dos peneiramentos a úmido, e a umidade natural, geradas foram semelhantes. O peneiramento com ar comprimido, sob pressão de 40PSI, tempo de peneiramento de 10min, em malha de 1,0mm, gerou 72,63% passante na malha de 1,0mm. Nas mesmas condições obteve-se 57,69% passante na malha de 0,3mm no peneiramento com ar comprimido, enquanto no peneiramento a úmido 60,29% foi passante na malha de 0,15mm. Sem o ar comprimido praticamente não houve passante na malha de 0,3mm na amostra de itabirito. As químicas das frações também ficaram muito próximas. Nos testes com a amostra de rejeito da barragem B4 os parâmetros do teste da condição 6 foram promissores. A fração retida na malha de 0,15mm no peneiramento a úmido foi igual a 5,03%, enquanto no peneiramento da condição 6 foi de 2,73%. Todos resultados obtidos confirmam a eficácia desta alternativa na desagregação da amostra e eficiência de peneiramento, sob condições controladas.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Faculdade Kennedy por disponibilizar a estrutura do laboratório e equipamentos para a execução dos testes. Ao técnico Roni, pela prestatividade em apoiar ao longo da execução dos procedimentos. À CSN por ceder as amostras para os testes.

6. REFERÊNCIAS

Chaves, A. P.; Peres, A. E. C. Teoria e Prática do Tratamento de Minérios, Editora Signus, Vol 1, Cap. 1, 2ª ed., São Paulo, SP. 2003.

Guimarães, N. C. Filtragem de rejeitos de minério de ferro visando a sua disposição em pilhas. Dissertação de mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas. UFMG. 2011.

Luz, A. B.; Sampaio J. A.; Almeida, S. L.M. Tratamento de minérios. Centro Tecnologia Mineral, Cap. 1, Rio de Janeiro, RJ. 2010.

Newsteel. Inovação sustentável em Mineração. Disponível em: <<https://newsteel.com.br/institucional/>>. Acesso em: 13 mar. 2019.

Rodriguez R, Del Roveri C. Análise do comportamento das rochas alcalinas do Planalto de Poços de Caldas. Tecnologia dos Minerais 2011; 8(8);90–6.

Valadão, G.E.S. Separação Sólido-Líquido. Belo Horizonte: EEUFMG, 2008. 80p.