DESENVOLVIMENTO DE UM ENSAIO DE JARRO COM MENOR CONSUMO DE MASSA PARA O DIMENSINAMENTO DE MOINHOS VERTICAIS

DA SILVA, M.C.T.[1], KOHMANN, H.K.[2], BERGERMAN, M.G.[3], DELBONI JR, H.[4]
[1] Universidade de São Paulo - Campus Butantã, milton.candido.silva@usp.br
[2] Universidade de São Paulo - Campus Butantã, hugo-kkmann@hotmail.com
[3] Universidade de São Paulo - Campus Butantã, mbergerman@gmail.com
[4] Universidade de São Paulo - Campus Butantã, hdelboni@usp.br

RESUMO

Ensaios de remoagem para o dimensionamento de moinhos tem como alimentação o produto gerado em etapas de concentração, que em muitos casos podem apresentar baixas recuperações em massa, o que dificulta a obtenção de massa em estágios iniciais de projeto, quando pouca massa de minério está disponível. A fim de contornar este problema, o presente projeto busca desenvolver um ensaio similar ao atualmente utilizado pelo principal fabricante de moinhos verticais - Metso, com menor consumo de massa. No presente estudo foram feitos ensaios de moagem com o concentrado de cobre da mina de Sossego, da Vale, tanto no jarro de 6” de diâmetro por 8” de comprimento, como no jarro de 8” de diâmetro por 10” de comprimento, ambos com revestimento liso sob diferentes períodos de moagem, tanto no equipamento gira jarro quanto no moinho de torque. Os resultados mostraram que os ensaios no jarro de menor tamanho, com menor consumo de massa, apresentam resultados semelhantes ao do jarro maior. O consumo de energia dos moinhos também foi similar entre a medição do moinho de torque e as estimativas feitas com a equação de Rowland.

PALAVRAS-CHAVE: remoagem, moagem, ensaio, jarro, moinho.

ABSTRACT

Regrinding tests for the mill design have as feed the product generated in concentration stages, which in many cases can present lower mass recoveries, which makes it difficult to obtain mass in the initial stages of project, when a small ore mass is available. In order to contour this problem, the present project seeks to develop a test similar to that currently used by the main manufacturer of vertical mills - Metso, with lower mass consumption. In the present study, grinding tests were carried out with the copper concentrate of Vale's Sossego mine, both in the jar of 6” of diameter by 8” in length, as in the jar with 8” of diameter by 10” of length both with smooth coating at different grinding periods, both on equipment gira jarro as in the torque grinder. The results showed that the tests in the smaller jar, with lower mass consumption, presented results similar to that of the larger jar. The energy consumption of the mills was also similar between the torque mill measurement and the estimates made with the Rowland equation.

KEYWORDS: regrinding, griding, test, jar, mil.

1. INTRODUÇÃO

Anos de explotação de minérios da natureza sucederam em consequências, como jazidas exauridas e outras com teores cada vez menores, por outro lado o consumo de matérias primas continua mantendo um padrão de crescimento, justificado pelos crescimentos econômicos e populacionais ao redor do planeta.

Uma forma de conciliar tanto o consumo crescente por matérias primas quanto a redução dos teores dos minérios que alimentam as usinas, mostrado como uma tendência pela Figura 1, é aumentando as massas processadas nas usinas, o que impõe desafios em termos de custos operacionais e de projeto das novas minas.

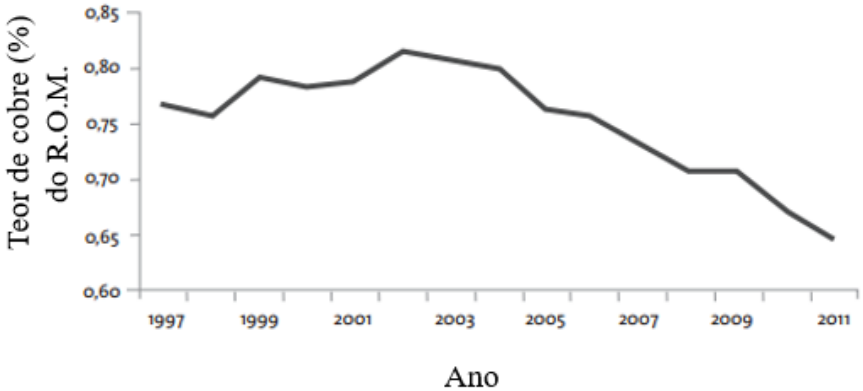

Figura 1. Gráfico da média dos teores de cobre das minas em operação - fonte: Rocio. et al (2012).

Estes desafios são particularmente significativos nas etapas de remoagem, onde o consumo específico de energia aumenta consideravelmente em granulometrias mais finas, neste contexto, moinhos de carga agitada, como o VertiMill® da Metso, tem menor consumo de energia específica, como visto na Figura 2, portanto apresentam neste quesito uma vantagem econômica.

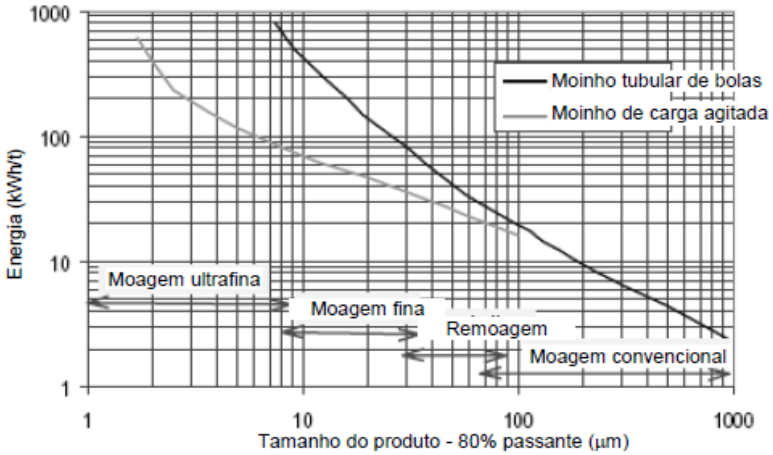

Figura 2. Consumo de energia em diferentes estágios de moagem - fonte: Bergerman (2013) apud Jankovic (2003).

Para o dimensionamento dos moinhos verticais a Metso utiliza um ensaio de jarro padronizado, que faz uso de um jarro 8” X 10”, executado em tempos como 10 e 20 minutos, registrando a granulometria do produto gerado e a energia consumida por período de moagem, sendo a energia consumida multiplicada por um fator de 0,65, o fator VTM (Will, 2016).

O presente artigo se propõe a validar um ensaio de menor massa, que visa facilitar o processo de obtenção de amostras e de realização dos ensaios.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Todos os ensaios foram realizados com amostras do concentrado das células de flotação rougher da Usina de Sossego, pertencente a Vale, detalhes das amostras e da coleta então descritos em Bergerman (2013).
Com estas foram feitos ensaios em jarros 8’’X10’’ e em jarros 6’’X8’’, tanto no moinho de torque quanto no moinho gira jarro, nas condições apresentadas na Tabela 1, a imagem dos dois moinhos está disposta na Figura 3 abaixo.

Figura 3. Imagens do moinho gira jarro com jarro 6"X8" e à direita moinho de torque com jarro 8”X10” - fonte: acervo pessoal do autor.

Tabela 1. Condições e características de operação dos ensaios em cada tipo de jarro

Condição e Característica	Jarro: 6x8", revestimento liso de aço inox	Jarro: 8x10", revestimento liso de aço inox
Volume do jarro (m3):	0,0037	0,0082
Carga do moinho - J (%):	40	40
Porosidade da carga (%)	40	40
Volume de vazios carga (mL)	593	1318
Massa dos corpos moedores (g):	6.938,7	15.419,3
Tamanho dos corpos moedores (mm)	12,7	12,7
Massa específica (g/cm3)	3,52	3,52
Densidade aparente (g/cm3)	1,56	1,56
Massa de sólidos (g):	462,6	1028,0
Volume de sólidos (mL)	296,5	658,9
Massa de água (g):	462,6	1028,0
Sólidos (%)	50	50
Fração do moinho com sólidos - f_c (%)	8	8
Fração da carga preenchida por sólidos - U (%)	50	50
Velocidade de rotação (rpm)	86,0	73,7
Velocidade teste - % da velcidade crítica (%)	76,0	76,0
Velocidade crítica (rpm)	113,2	96,9

Foram realizados ensaios com 5, 10, 20 e 40 minutos de moagem nos dois tamanhos de jarro no Moinho de torque e gira jarro, resultando em 16 ensaios. A energia consumida pelas moagens no moinho gira jarro foi determinada pela equação proposta por Rowland (Equação 1), válida para jarros com diâmetro menor que 2,44 metros, ao passo que a energia empregada pelo Moinho de torque foi encontrada por meio da Equação 2, que utiliza o torque em função do tempo fornecido pelo equipamento.

$$kwb = 6{,}3 * D^{0{,}3} * sen\left(51 - 22 * \left(\frac{2{,}44 - D}{2{,}44}\right)\right) * (3{,}2 - 3 * Vp) * Cs * \left(1 - \frac{0{,}1}{2^{(9-10Cs)}}\right) \quad (1)$$

$$\text{Energia[J]} = \int_{t1}^{t2} \Delta E * dt = \int_{t1}^{t2} T(t) * \omega * dt. \quad (2)$$

O material resultante destas moagens foi secado em estufas, pesado após a secagem e então disposto em pilha alongada para ser feita a retirada de frações de pontos aleatórios da pilha, visando a obtenção de alíquotas representativas que seriam destinadas a análises granulométricas com peneiramentos à úmido manual e Malvern. O fluxograma completo está disposto na Figura 4, sob este parágrafo.

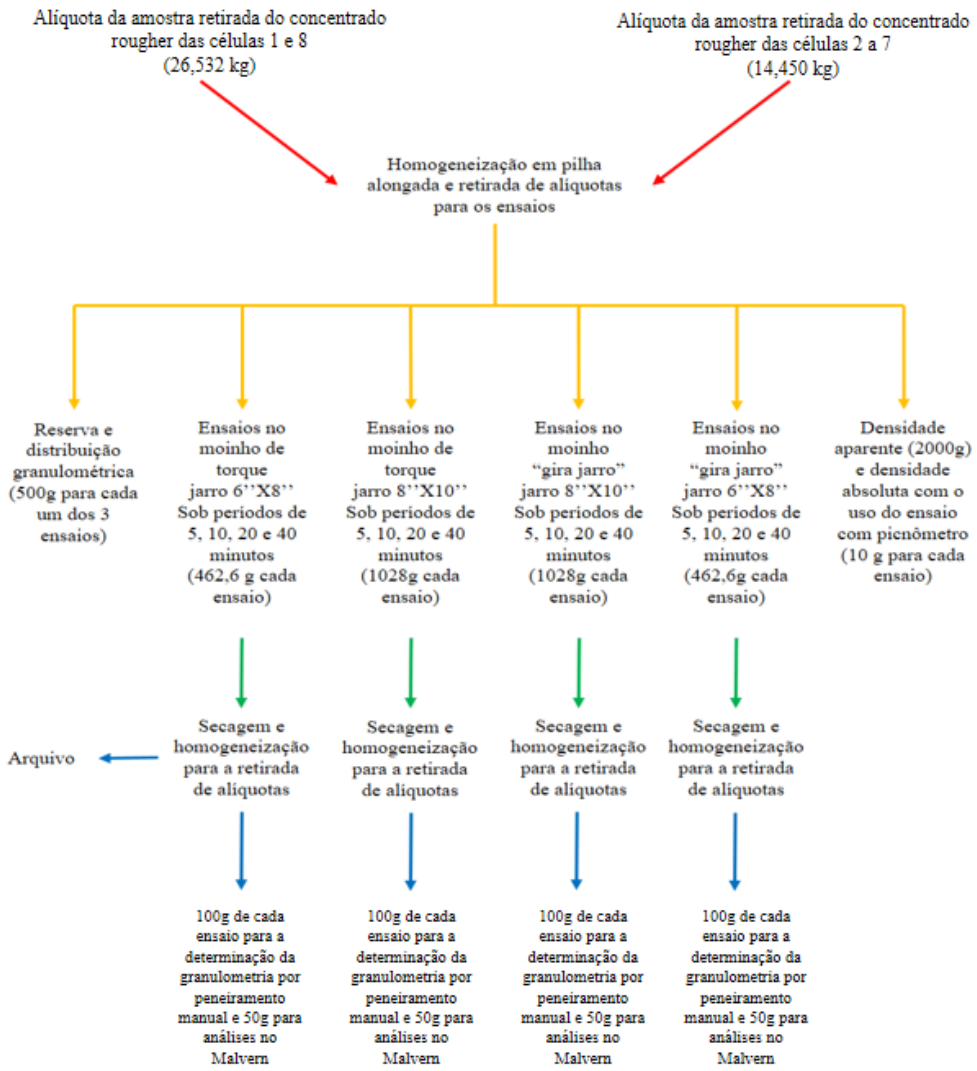

Figura 4. Fluxograma dos ensaios e análises.

As análises realizadas pelo Malvern foram feitas com água deionizada como meio de dispersão, os índices de refração do meio de dispersão e das partículas empregados foram 1,33 e 1,45 respectivamente, a frequência da bomba utilizada foi de 2500 rpm, com ultrassom empregado de 1 minuto.

As peneiras usadas no peneiramento à úmido eram da Bronzinox, malhas de 425, 300, 212, 150, 106, 75, 53 e 38 µm.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da granulometria adquiridos com o uso do equipamento Malvern e no peneiramento à úmido manual estão dispostos nas Figuras 5 e 6.

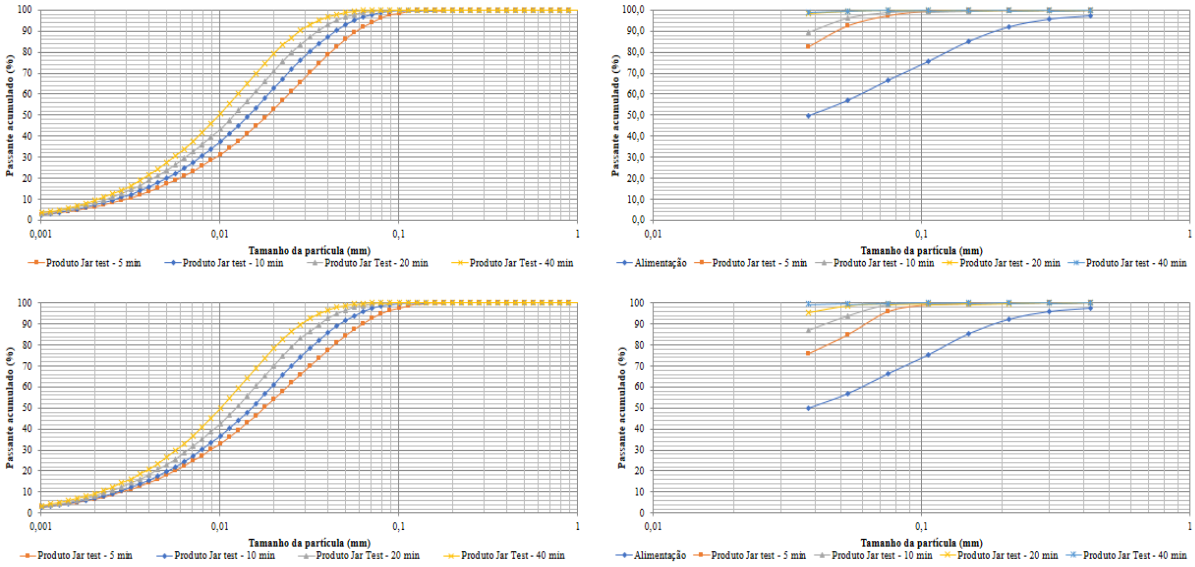

Figura 5. Distribuições granulométricas obtidas com o Malvern (esquerda) e peneiramento à úmido manual (direita) das amostras que passaram por ensaios de moagem no jarro 8"X10" sob diferentes períodos de tempo, acima com o moinho gira jarro e abaixo com o moinho de torque

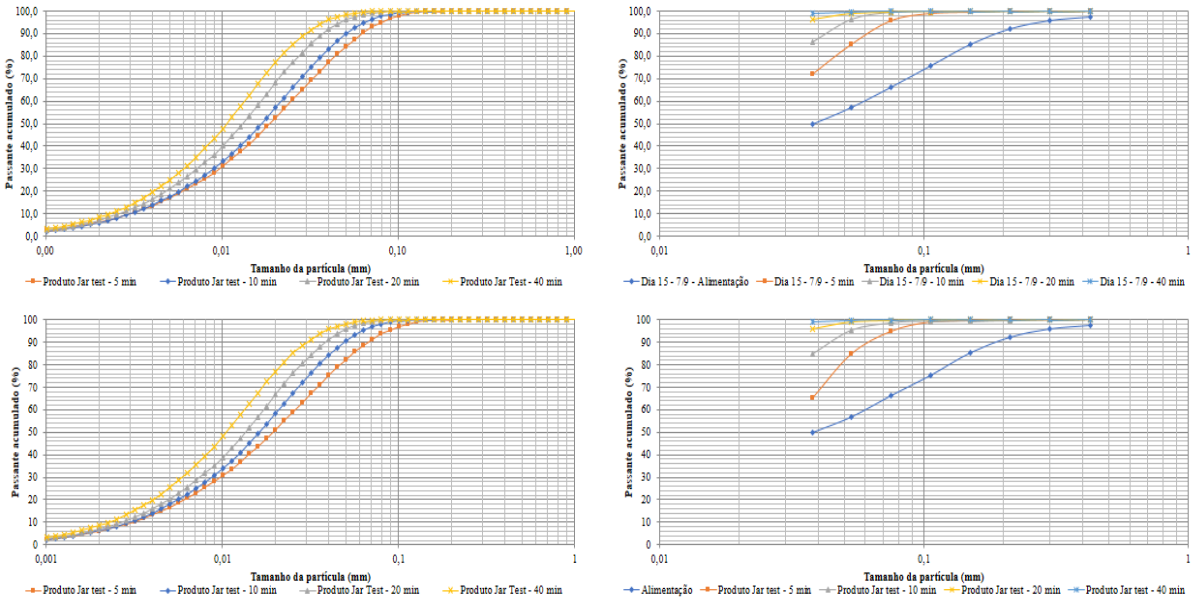

Figura 6. Distribuições granulométricas obtidas com o Malvern (esquerda) e peneiramento à úmido manual (direita) das amostras que passaram por ensaios de moagem no jarro 6"X10" sob diferentes períodos de tempo, acima com o moinho gira jarro e abaixo com o moinho de torque

As distribuições granulométricas são semelhantes para as mesmas energias de moagem entre os produtos de ensaios realizados em diferentes moinhos (Torque ou gira jarro) e jarros (6”X8” e 8”X10”); Outra similaridade apresentada nos resultados é a energia consumida pelo moinho gira jarro e pelo moinho de torque, encontrada por meio da Equação (1) e por meio da Equação (2), como pode ser visto nos gráficos da Figura 7.

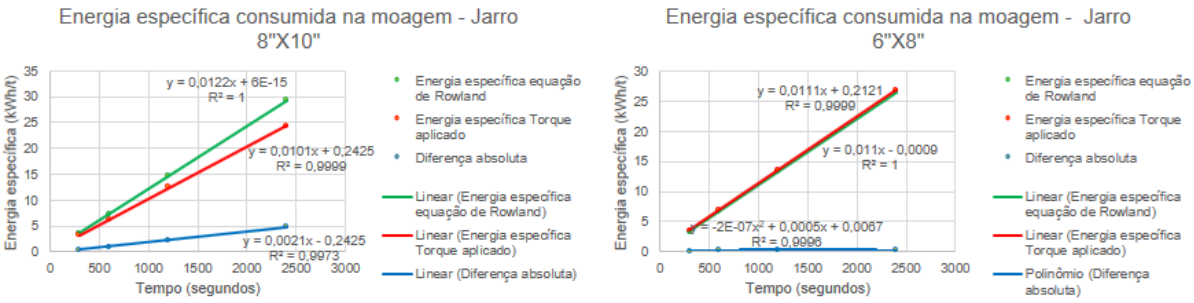

Figura 7. Energia específica consumida na moagem para os jarros 8"X10" e 6"X8" em função do tempo em segundos.

Para o Jarro 6”X8” os valores de energia específica experimental (por meio da Equação 1) foram bem aderentes aos valores teóricos em função do tempo. O mesmo não ocorre para o Jarro 8”X10”, onde os valores experimentais se mostram menores que os valores teóricos com o tempo, porém esses são desvios muito pequenos para tempos de 5, 10 e 20 minutos de moagem (tempos normalmente utilizados). O mesmo efeito é descrito Mazzinghy (2009). Com os resultados da energia específica consumida nos ensaios, o P_{80} das distribuições granulométricas e a área superficial adquiridas com as análises do Malvern foi possível traçar as curvas ilustradas nas Figuras 8 e 9, que indicam semelhança entre os ensaios de maior e menor massa para diferentes tipos de moinho.

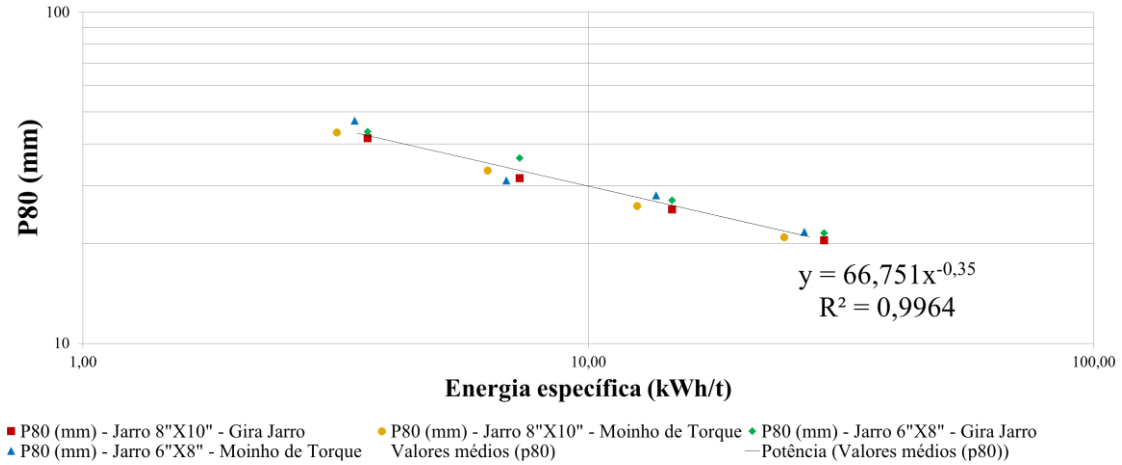

Figura 8. Resultados do P_{80}, obtidos pelo Malvern, em função da energia específica consumida na moagem, para as 4 combinações de moinhos e jarros utilizados.

.

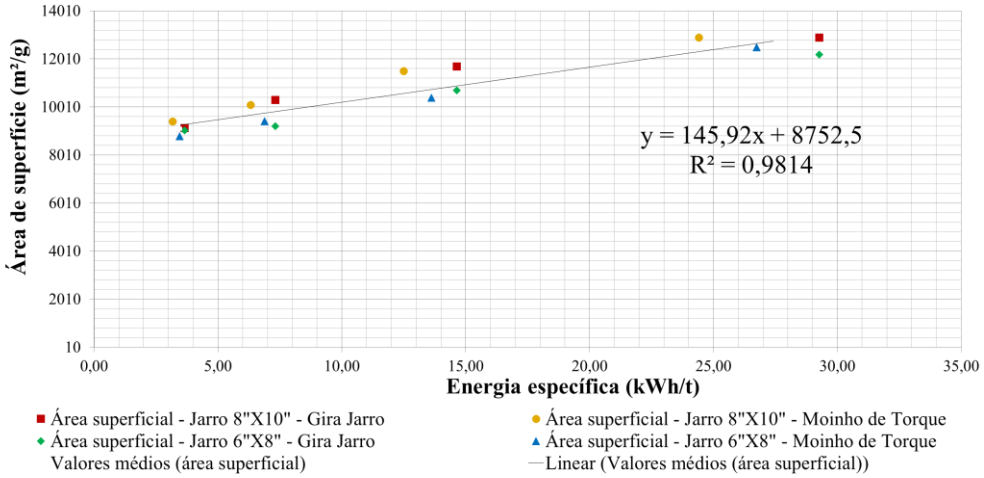

Figura 9. Resultados da área superficial das partículas do produto das moagens, obtidas pelo Malvern, em função da energia específica consumida na moagem, para as 4 combinações de moinhos e jarros utilizados.

4. CONCLUSÃO

Os resultados apresentados indicam que as relações de energia específica consumida na moagem pelo P_{80} são semelhantes entre os moinhos utilizados (gira jarro e moinho de torque) e também entre os diferentes jarros empregados na moagem, o que reforça a validação de um ensaio com menor uso de massa que o tradicional utilizando o moinho de torque para a determinação do consumo de energia.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fapesp, pelo apoio a realização deste projeto com recursos do projeto de pesquisa 2015/11739-2. Agradecem também a Vale S.A. pela doação das amostras de minérios e ao Prof. Dr. Cícero Moraes, da Escola Politécnica da USP, pela ajuda na construção e operacionalização do moinho de torque.

6. REFERENCIAS

Bergerman MG. Dimensionamento e simulação de moinhos verticais. [Tese de Doutorado]. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo; 2013.

Donda JD. Um método para prever o consumo específico de energia na (re)moagem de concentrados de minério de ferro em moinhos de bolas. [Tese de Doutorado]. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte; 2003.

Mazzinghy DB. Modelagem e Simulação de circuito de moagem através da determinação dos parâmetros de quebra e da energia específica de fragmentação. [Dissertação de Mestrado]. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte; 2009.

Rocio MA, Da Silva MM, Carvalho PSL, Cardoso JG. Perspectivas atuais da indústria de cobre no Brasil. BNDES Setorial 36. 2012, p. 397-428.

Wills BA, Finch JA. Mineral Processing Technology. 8a. ed. Montreal. Canadá; 2016