

## ESTUDO PARA AUMENTO DA CAPACIDADE DO CIRCUITO INDUSTRIAL DE BRITAGEM DE RIACHO DOS MACHADOS

GOMES, W.L.<sup>1</sup>, DELBONI JR., H.<sup>2</sup>, JATOBÁ, T.L.A.<sup>3</sup>, GIACON, V.P.<sup>4</sup>, SANTOS JR., L.T.<sup>5</sup>; GOMES, M.P.D.<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Universidade de São Paulo. email: wellingtonlacerdagomes@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade de São Paulo. email: hdelboni@usp.br

<sup>3</sup>Universidade de São Paulo. email: tjatonline@gmail.com

<sup>4</sup>VUniversidade de São Paulo. email: vgiacon@gmail.com

<sup>5</sup>BrioGold Division, Yamana Gold Inc. email: Luiz.Junior@yamana.com

<sup>6</sup>BrioGold Division, Yamana Gold Inc. email:

### RESUMO

O circuito industrial de britagem da mineração Riacho dos Machados, MG, consiste de escalpe em grelha vibratória e britagem primária em britador de mandíbulas. Na sequência ambos os produtos são encaminhados ao peneiramento primário, onde o *undersize* é produto final do circuito e o *oversize* é direcionado ao britador secundário cônico. O produto da britagem secundária é direcionado ao circuito de britagem terciário fechado com peneira e configurado de modo reverso. Desta forma, o *undersize* do peneiramento secundário também é produto final e o *oversize* torna-se a carga circulante do circuito e alimenta o britador terciário cônico. O presente estudo tem como objetivo apresentar alternativas para expansão da capacidade do circuito industrial. Para tanto, o estudo consistiu em estabelecer um diagnóstico atualizado e detalhado do desempenho do respectivo circuito industrial de britagem. A base para tal diagnóstico foi uma campanha amostragem global do circuito, a partir da qual foram realizadas calibrações de modelos matemáticos para cada equipamento amostrado, bem como a integração dos mesmos para representar a operação típica do circuito. Por meio desta plataforma, denominada de Caso Base, foram simulados cenários que permitiram obter um aumento da capacidade do circuito industrial. Deste modo, este trabalho apresentou alternativas de processo, bem como dimensionamento de novos equipamentos, por meio de modelagem matemática e simulação para aumento da capacidade do circuito de britagem de Riacho dos Machados.

**PALAVRAS-CHAVE:** modelagem, simulação, dimensionamento.

### ABSTRACT

The industrial crushing circuit of Riacho dos Machados, MG, comprises scalping in vibrating grate and primary crushing in jaw crusher. The two products feed the primary screen, where undersize is final product of the circuit and oversize is routed to the secondary conical crusher. The product of the secondary crusher is directed to the tertiary crushing circuit, which is reverse and closed with screen. Thus, the undersize of the secondary screen is also final product and the oversize becomes the circulating load of the circuit and feeds the conical tertiary crusher. The present work aims to study alternatives to increase the capacity of the industrial crushing circuit. For this purpose, an updated and detailed diagnosis of the circuit performance was done, based on a global sampling campaign. From data obtained in the sampling campaign, mathematical model calibrations were performed for each sampled

equipment, as well as their integration to represent the typical operation of the circuit, such platform was called Base Case. Through this platform, a series of scenarios to enable an increase in capacity of the industrial circuit were simulated. Accordingly, this work presented alternatives of process, as well as design of new equipment, through mathematical modeling and simulation to increase the capacity of the industrial crushing circuit of Riacho dos Machados.

**KEYWORDS:** modelling, simulation, design.

## 1. INTRODUÇÃO

O circuito industrial de britagem industrial de britagem de Riacho dos Machados (MRDM) consiste de britagem primária em britador de mandíbulas e escalpe com grelha vibratória. Na sequência ambos os produtos são encaminhados ao peneiramento primário, onde o *undersize* é produto final do circuito e o *oversize* é direcionado ao britador secundário cônico. O produto da britagem secundária é direcionado ao circuito de britagem terciário fechado com peneira e configurado de modo reverso. Desta forma, o *undersize* do peneiramento secundário também é produto final. Por sua vez, o *oversize* da peneira secundária torna-se a carga circulante do circuito e alimenta o britador terciário cônico. O produto do britador terciário retorna à peneira secundária fechando o circuito.

Um estudo foi realizado sobre a operação do circuito industrial de britagem MRDM. O trabalho teve como objetivo elaborar um diagnóstico da operação atual em relação ao desempenho e eficiência de processo, bem como recomendar ações a serem tomadas nos pontos indicados pelo diagnóstico com possibilidade de melhoria de processo e dimensionar novos equipamentos de modo a promover para atender o aumento de capacidade estabelecido pela MRDM. As ações recomendadas foram estudadas por meio de modelagem matemática e simulações de processo.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi baseado em uma campanha de amostragem do respectivo circuito industrial. A partir dos dados e das informações obtidas na campanha de amostragem foram realizadas calibrações de modelos matemáticos de cada equipamento amostrado e a integração dos mesmos de modo a configurar uma plataforma representativa da operação atual do circuito denominada Caso Base. A calibração dos modelos matemáticos de processo para os equipamentos individuais, bem como a integração dos mesmos foram realizadas com o auxílio do *software* JKSimMet 6.1. Os modelos matemáticos utilizados para calibrar os britadores do circuito foi o proposto por Andersen (1988), o qual foi baseado em WHITEN (1972). Para as peneiras foi utilizado um modelo de baseado na curva de partição padrão (YOSHIOKA E HOTTA, 1955).

O modelo utilizado para os britadores é válido apenas para equipamentos que possuam um estreitamento da câmara de britagem. O modelo consiste de uma sequência de fenômenos de classificação e eventos de fragmentação. Inicialmente todo fragmento é classificado no interior da câmara do britador. As frações finas são descarregadas diretamente, sem sofrer cominuição, enquanto os fragmentos maiores são cominuídos e na sequência reclassificados, sendo então cominuídos

novamente até que se tornem finos o suficiente para serem descarregados pelo britador (DELBONI JR., 2012).

O modelo para as peneiras consiste na parametrização da curva de partição padrão por meio do diâmetro mediano de partição ( $d50_{\text{corrigido}}$ ) e coeficiente de inclinação ( $\alpha$ ) no segmento próximo ao  $d50_{\text{corrigido}}$ .

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O objetivo de se adotar um Caso Base consistiu em se determinar diagnósticos da operação atual do circuito de britagem MRDM, estabelecendo assim as respectivas referências que balizaram os cenários estudados mediante simulações. A Figura 1, a seguir, ilustra o fluxograma de processo do circuito de britagem MRDM com descrição dos equipamentos e condições operacionais, assim como balanço de massas estabelecido para o Caso Base.

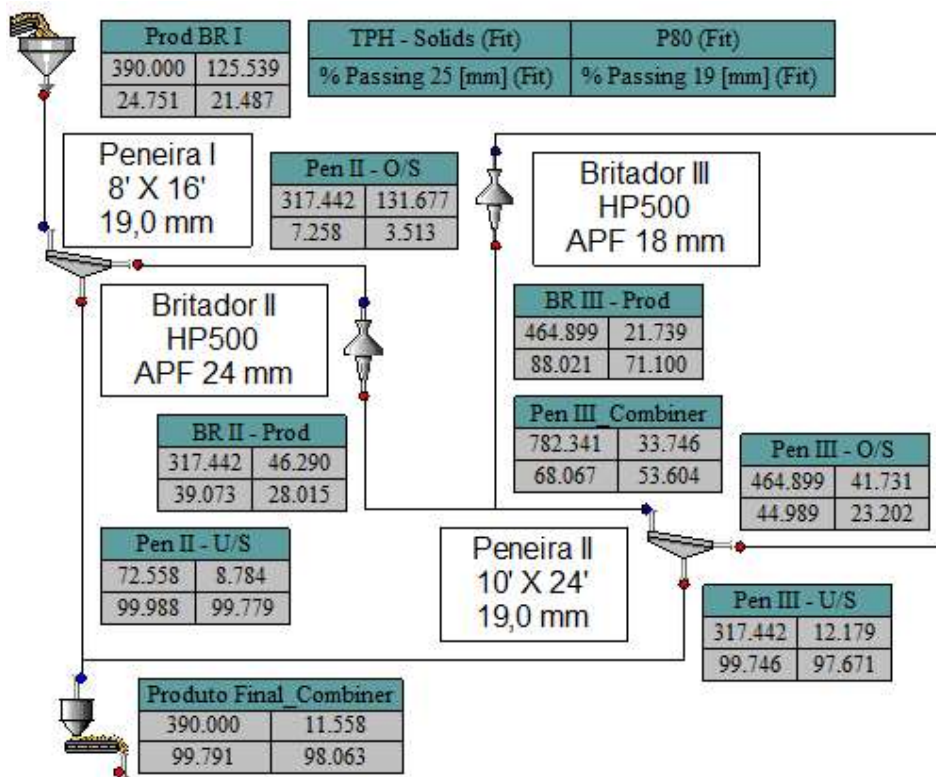


Figura 1. Fluxograma de processo do Caso Base do circuito industrial de britagem MRDM.

#### 3.1. CASO BASE

Os resultados do Caso Base para o circuito de britagem MRDM indicaram:

- Produção de 390 t/h, gerando produto final com  $P_{80}$  de 11,6 mm. Entretanto, foi verificado durante a semana de amostragem, bem como informado pela equipe de operação a ocorrência de um número significativo de paradas do circuito. Deste modo, apesar do circuito suportar uma vazão de alimentação de sólidos de 390 t/h, a operação com tal vazão era instável;

- Alta carga circulante (146 %) na etapa de britagem terciária;
- Sobrecarga no britador terciário e peneiramento secundário;
- Eficiência de peneiramento satisfatória para a peneira primária (86%) para a malha de abertura de 19,0 mm e baixa eficiência para o peneiramento secundário (74%) para a correspondente malha de abertura de 19,0 mm;
- A sobrecarga no britador terciário, além de resultar em problemas mecânicos e maior desgaste dos revestimentos, também limita a capacidade de produção do circuito. Do mesmo modo, a sobrecarga da peneira secundária acarreta em baixa eficiência de peneiramento e limita a capacidade do circuito.

### 3.2. CENÁRIOS SIMULADOS

De acordo com o diagnóstico do Caso Base constatou-se que o circuito industrial opera com capacidade máxima, sendo que a etapa de britagem terciária limita o aumento da vazão de alimentação de sólidos. Deste modo, foram simulados cenários que compreenderam a instalação de uma nova linha de britagem terciária semelhante a atual (britador + peneira), conforme duas configurações de processo, as quais foram denominadas de “Configuração A” (original, semelhante a atual) e “Configuração B” (proposta nova) e estão ilustradas nas Figuras 2 e 3 a seguir, respectivamente.

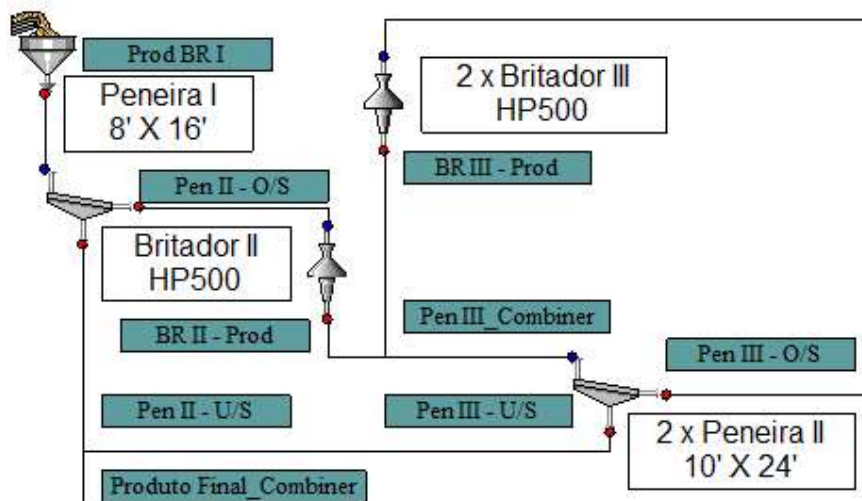


Figura 2. Fluxograma de processo do circuito de britagem MRDM – Configuração A.

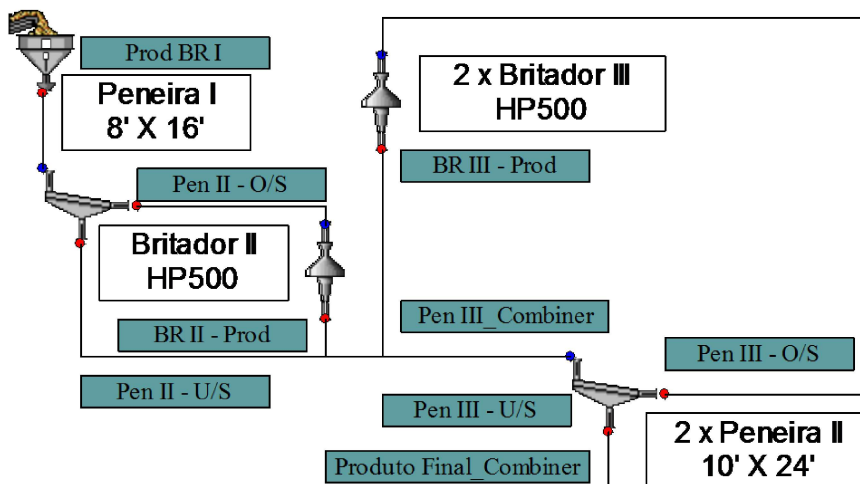


Figura 3. Fluxograma de processo do circuito de britagem MRDM – Configuração B.

A Tabela 1 na sequência apresenta a descrição dos cenários simulados, assim como os principais resultados obtidos para cada um destes. A coluna “Condições Operacionais” destaca em **negrito** e *itálico* as modificações em cada cenário estudado em relação ao Caso Base. Ainda nas colunas de “Vazão de Sólidos (t/h)” estão destacadas com retângulos, **negrito** e *itálico* a vazão dos equipamentos que foram limitantes para o aumento de capacidade do circuito em cada cenário simulado.

**Tabela 1. Descrição e resultados dos cenários simulados para o circuito de britagem MRDM.**

Cenários	Condições Operacionais	Vazão de Alimentação (t/h)	Eficiência de Finos (%)			Vazão de Sólidos (t/h)			Carga Circulante (%)	P <sub>80</sub> (mm)
			Pen I	Pen II	Pen I	BR II	Pen II	BR III		
<b>Caso Base</b>	1 x Abertura Pen I = 19 mm 1 x APF BR II = 24 mm 1 x Abertura Pen II = 19 mm 1 x APF BR III = 18 mm BR III: <i>Standard - Médio</i> Configuração A - Original	390	86	74	390	317	782	465	146	11,6
Cenário 1	1 x Abertura Pen I = 19 mm 1 x APF BR II = 33 mm 2 x Abertura Pen II = 19 mm 2 x APF BR III = 16 mm BR III: <i>Standard - Fino</i> Configuração A - Original	540	65	77	540	464	1080	615	133	11,0
Cenário 2	1 x Abertura Pen I = 17 mm 1 x APF BR II = 30 mm 2 x Abertura Pen II = 17 mm 2 x APF BR III = 16 mm BR III: <i>Standard - Fino</i> Configuração A - Original	495	65	74	495	492	1064	634	128	10,2
Cenário 3	1 x Abertura Pen I = 15 mm 1 x APF BR II = 26 mm 2 x Abertura Pen II = 15 mm 2 x APF BR III = 16 mm BR III: <i>Standard - Fino</i> Configuração A - Original	455	66	73	455	397	1054	657	144	9,41
Cenário 4	1 x Abertura Pen I = 13 mm 1 x APF BR II = 24 mm 2 x Abertura Pen II = 13 mm 1 x APF BR III = 13 mm BR III: <i>Cabeça Curta - Grosso</i> Configuração A - Original	370	72	74	370	322	827	505	136	7,86
Cenário 5	1 x Abertura Pen I = 38 mm 1 x APF BR II = 30 mm 2 x Abertura Pen II = 19 mm 2 x APF BR III = 16 mm BR III: <i>Standard - Fino</i> Configuração B - Proposta	550	75	79	550	423	1168	618	112	11,0
Cenário 6	1 x Abertura Pen I = 35 mm 1 x APF BR II = 27 mm 2 x Abertura Pen II = 17 mm 2 x APF BR III = 16 mm BR III: <i>Standard - Fino</i> Configuração B - Proposta	520	76	77	520	403	1175	655	126	10,2
Cenário 7	1 x Abertura Pen I = 25 mm 1 x APF BR II = 25 mm 2 x Abertura Pen II = 15 mm 2 x APF BR III = 16 mm BR III: <i>Standard - Fino</i> Configuração B - Proposta	475	75	75	475	386	1157	682	144	9,42
Cenário 8	1 x Abertura Pen I = 19 mm 1 x APF BR II = 24 mm 2 x Abertura Pen II = 13 mm 2 x APF BR III = 13 mm BR III: <i>Cabeça Curta - Grosso</i> Configuração B - Proposta	370	86	76	370	301	875	505	137	7,86

### 3.2.1. Discussão dos Cenários Simulados

Os cenários simulados indicaram que a instalação da nova linha de britagem terciária promove aumento da capacidade do circuito, assim como geração de produto final mais fino. Os resultados de capacidade e  $P_{80}$  do produto final estão listados abaixo para cada cenário simulado, configuração de processo do circuito e a respectiva malha de fechamento da peneira.

#### **Configuração A – Original:**

- Cenário 1 – abertura de 19,0 mm: 540 t/h e  $P_{80}$  de 11,0 mm;
- Cenário 2 – abertura de 17,0 mm: 495 t/h e  $P_{80}$  de 10,2 mm;
- Cenário 3 – abertura de 15,0 mm: 455 t/h e  $P_{80}$  de 9,41 mm;
- Cenário 4 – abertura de 13,0 mm: 370 t/h e  $P_{80}$  de 7,86 mm.

#### **Configuração B – Proposta nova:**

- Cenário 5 – abertura de 19,0 mm: 550 t/h e  $P_{80}$  de 11,0 mm;
- Cenário 6 – abertura de 17,0 mm: 520 t/h e  $P_{80}$  de 10,2 mm;
- Cenário 7 – abertura de 15,0 mm: 475 t/h e  $P_{80}$  de 9,42 mm;
- Cenário 8 – abertura de 13,0 mm: 370 t/h e  $P_{80}$  de 7,86 mm.

## 4. CONCLUSÃO

O diagnóstico do Caso Base do circuito de britagem MRDM constatou que o circuito opera de atualmente com capacidade máxima para o minério processado, sendo a britagem terciária (britador + peneira) a etapa que limita o aumento de capacidade do circuito.

A implantação da segunda linha de britagem terciária semelhante a atual (britador + peneira) desafoga as etapas de peneiramento secundário e britagem terciária e, como resultado, viabiliza o aumento de capacidade do circuito, bem como o fechamento da abertura da peneira e, assim geração de um produto final mais fino promovendo melhorias para a etapa subsequente de moagem.

Concluiu-se ainda que a nova Configuração B de processo do circuito promove maior capacidade do que a Configuração A original. Esta circunstância pode ser explicada pelo fato de que a Configuração B desafoga o britador secundário e a peneira primária, esta última significativamente menor que a peneira secundária.

É importante ressaltar que os estudos de simulação não consideraram a etapa de britagem primária e, portanto, o aumento de capacidade do circuito pressupõe a avaliação complementar desta etapa.

## REFERÊNCIAS

ANDERSEN, J. S. Development of a cone crusher model. Master Engineering Science Thesis, University of Queensland (JKRMC), 1988.

DELBONI JR., H. Modelagem e Simulação de Circuitos de Cominuição e Classificação. Apostila do Curso, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.

WHITEN, W. J. Simulation and model building for mineral processing. PhD Thesis, University of Queensland (JKRMC), 1972.

YOSHIOKA, N.; HOTTA, Y. Liquid cyclone as a hydraulic classifier. Chemical Engineering, Japan, 1955. p.632-640.