

A Relação do Tempo Ótimo nos Processos de Cominuição para Liberação do Ouro

The Relation of Optimal Time in Commencement Processes for Gold Release

Marcus Vinícius Ribeiro¹

Raimundo Luciano da Silva²

Wellington Gomes Saraiva³

Jacqueline Andrade Nogueira⁴

Resumo: O beneficiamento mineral consiste em operações que visam a concentração dos minerais, sem modificar sua identidade química e física. O objetivo deste artigo é demonstrar através de ensaios o menor tempo de moagem e o fator de enchimento do moinho para liberação da partícula de ouro com 80% do material passante na malha de 200 *mesh*. Conclui-se que, o melhor tempo de residência no moinho de bolas deverá ser com 28 minutos de residência.

Palavras-chave: Liberação do ouro; tempo de processo; beneficiamento do ouro.

Abstract: *Mineral processing consists of operations aiming to modify the granulometry, the relative concentration of the mineral species present or the shape, without changing its chemical and physical identity. The main objective of this paper is to demonstrate by means of tests the least milling time and milling factor of the mill to release the gold particle with 80% of the material passing through the 200 mesh. It is concluded that the best time of residence in the ball mill should be 28 minutes of residence.*

Keywords: *Gold release; process time; processing of gold.*

¹ Graduando em Engenharia de Minas da Faculdade Kennedy, marcus.vribeiro@hotmail.com

² Graduando em Engenharia de Minas da Faculdade Kennedy, raimundo13silva@gmail.com

³ Graduando em Engenharia de Minas da Faculdade Kennedy, welingtongomessaraiva@gmail.com

⁴ Engenheira de Minas pela Universidade Federal de Minas Gerais, Mestrado e Doutorado em Engenharia Metalúrgica de Minas pela Universidade Federal de Minas Gerais. Formação Pedagógica para Formadores da Educação Profissional pela Universidade do Sul de Santa Catarina. Engenharia de Segurança do Trabalho pelas Faculdades Kennedy. Professora do Curso de Engenharia de Minas das Faculdades Kennedy, jandradenogueira@yahoo.com.br

1 INTRODUÇÃO

O beneficiamento mineral consiste de operações aplicadas aos bens minerais, visando modificar a granulometria, a concentração relativa das espécies minerais presente ou a forma, sem, contudo, modificar a identidade química e física dos minerais (LUZ *et al.*, 2010).

Para um minério ser concentrado, é necessário que ele esteja fisicamente liberado. O mineral precisa ser submetido a uma operação de redução de tamanho, a cominuição, isto é, britagem e/ou moagem. Como as operações de redução são caras (requer maiores investimentos, ocorre maior gasto de energia), deve-se fragmentar só o estritamente necessário para as etapas seguintes (LUZ *et al.*, 2010).

A espécie submetida ao processo é um mineral metálico, caracterizado por elevada densidade e maleabilidade, além de possuir boa condutividade elétrica e resistência à corrosão (ARAÚJO NETO, 2009).

O tratamento das rochas portadoras de ouro inclui, em geral, britagem, moagem, gravimetria, flotação e cianetação. (ARAÚJO NETO, 2009).

A etapa no processo de fragmentação do minério e liberação do ouro é um parâmetro que dever ser analisado com critério para um uso eficaz da energia. Baseado na otimização do tempo de residência do minério no processo, qual é o melhor tempo de residência do minério no moinho para atingir o grau de liberação do ouro?

O objetivo deste artigo é verificar os estágios de tratamento do minério de ouro nas etapas de cominuição que antecedem a concentração. Serão realizados testes laboratoriais de fragmentação do minério na planta piloto de mineração da unidade da cidade de Nova Lima em Minas Gerais do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI). Verificar-se-á ainda, a partir daí o grau de redução e a granulometria de um determinado fluxo de fornecimento, sendo utilizado o minério de ouro de rochas sulfetadas coletado na Mina de Lamego, localizada em Sabará/MG.

O interesse pelo tema justifica-se pela importância da otimização do processo de cominuição, para demonstrar o grau de liberação do minério de ouro

com mais eficiência e em menor tempo através das informações obtidas nos ensaios laboratoriais, visando à busca por processos mais eficientes do ponto de vista da produtividade, custos de investimento e operacional.

Neste contexto, a Indústria da mineração, sendo uma das mais importantes atividades no desenvolvimento de uma sociedade, preocupa-se em promover a sustentabilidade, buscando otimizar o tempo de energia gasto no processamento mineral através da moagem.

O objetivo principal deste artigo é demonstrar através de ensaios qual o menor tempo de moagem e fator de enchimento do moinho para liberação da partícula de ouro com 80% do material passante na malha de 200 *mesh*.

Ainda como objetivos específicos têm-se: executar o processo de cominuição da amostra do minério através das etapas de britagem, primária, secundária e terciária para atingir a liberação das partículas de ouro; realizar análise granulométrica para verificar o grau de redução dos produtos obtidos nos britadores, ou seja, o F_{80} – que representa 80% do volume de alimentação do britador e o P_{80} , que significa 80% do material passante em uma determinada malha de peneira; moer a amostra proveniente dos britadores através do moinho de bolas para atingir o P_{80} da peneira com malha de 200 *mesh*; executar o peneiramento da amostra de minério provinda do moinho, nas peneiras de 65, 100, 150 e 200 *mesh*, verificando cada fração obtida da análise granulométrica o material em cada malha.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Conforme Schumann (2008), o ouro é um metal de cor amarelo-latão, traço amarelo-dourado, brilho metálico, dureza 2,5 a 3 na escala Mohs. Densidade de 19,3 a 19,5 g/cm³. Brilho metálico, opaco. Dúctil, não tem clivagem e muito maleável. Os cristais predominam a forma cúbica e octaédrica.

Segundo Araújo Neto (2009), o ouro é encontrado basicamente associado a sulfetos e associado com cobre-ferro e livre nos aluviões. Ele está presente em toda crosta terrestre e é extraído de rochas antigas (arqueozoicas e proterozóicas) e terrenos terció-quaternário. As rochas arqueozoicas e proterozóicas e as terció-quaternárias representam aproximadamente 60% de todas as rochas do continente.

Ainda assim, o ouro também pode ser encontrado em concentrações muito baixas na forma de subproduto do tratamento de outros minerais, comumente do grupo da platina, cobre, zinco entre outros.

O ouro é encontrado nos minérios em teores da ordem de g/t, associando-se a minerais diversos, como o quartzo, a pirita etc. A forma de ocorrência mais frequente é a metálica, geralmente em liga com a prata e/ou metais do grupo da platina. Mais raramente são encontrados compostos de ouro com o telúrio (teluretos). É importante citar que parte da produção mundial de ouro provém do tratamento de resíduos dos processos de obtenção de outros metais, como o cobre, o zinco, o chumbo e o níquel. Nestes casos, onde o ouro é um subproduto, a sua recuperação é bastante diversa, sendo analisada em um dos itens da purificação. (GRANATO, 1986, p. 6).

De acordo com Araújo Neto (2009), referido metal precioso vem sendo usado há mais de 6.000 anos. Na antiguidade suas principais aplicações eram na fabricação de joias e adornos. Também era usado com lastro monetário pelos principais países, porém sofrendo processos de desmonetização e transformando-se em *commodity*.

O Brasil colonial foi o maior produtor de ouro do mundo. Em anos seguintes houve um declínio na produção, porém em 1888 houve um ápice na produção, sendo os garimpos o principal responsável por este resultado. (ARAÚJO NETO, 2009).

Em 2007 no Brasil, foram produzidas 49,6 toneladas de ouro com valor superior a 1,1 bilhão de dólares: o ouro foi o responsável por cerca de 2,0% de toda a Compensação Financeira Pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM), arrecadada no país.

Conforme Araújo Neto (2009), a maior parte das minas de ouro do mundo é lavrada de forma subterrânea, inclusive no Brasil, porém várias minerações e a maioria dos garimpos são lavradas a céu aberto.

Os depósitos de ouro podem ocorrer em grandes extensões e profundidades e apresentar espessura de centenas de metros, portanto as minas de ouro podem ser operações de grande porte, e de longa vida útil. Algumas minas produzem além do ouro diversos produtos, como o cobre, a prata e o ácido sulfúrico. (ARAÚJO NETO, 2009, p.15).

"Regiões auríferas são definidas pela presença de uma ou mais jazidas, além de ocorrência de depósitos de menor importância" (ARAÚJO NETO, 2009, p.18).

Portanto para a extração deste bem mineral, faz-se necessário o tratamento do minério através da cominuição das rochas para liberação do mineral de sua ganga; em seguida a recuperação dos minerais valiosos liberados por concentração; e por processos químicos; os semi-liberados.

Os minérios apresentam, em geral, características e peculiaridades próprias e, devido a isto, frequentemente, processos tecnológicos adequados para um dado minério, nem sempre poderão ser efetivos para um minério similar. Sabendo-se que em um determinado depósito podem ocorrer variações e alterações na:

- (i) Composição mineralógica devidas à distribuição aleatória do mineral-minério no depósito;
- (ii) Na granulometria do mineral de interesse;
- (iii) Na sua relação dos minerais de ganga, e entre outros. (LUZ *et al.*, 2010, p. 57).

Segundo Silva (2003), a tecnologia já consagrou escalonamento do trabalho de fragmentação, realizando-o em etapas de acordo com a faixa de tamanho em que se opera cada etapa realizada em máquinas com características adequadas ao atendimento dos fatores geométricos e mecânicos predominantes na faixa granulométrica. Assim é que se distinguem atualmente em três ou quatro etapas.

A fragmentação primária ou britagem opera-se na faixa dos maiores tamanhos do metro ao decímetro, quando as máquinas devem ter câmaras de fragmentação com dimensões suficientes para conter os blocos e sejam mecanicamente capazes de aplicar forças de esmagamento proporcional aos tamanhos dos blocos. Já a fragmentação secundária ou redução intermediária: É quando se opera na faixa de decímetro ao centímetro. E a fragmentação terciária ou moagem: É quando se opera abaixo do centímetro. (SILVA, 2003).

"Britagem primária pode ser realizada tanto em britadores de mandíbulas de dois eixos quanto em britadores de impacto". (CHAVES; *et al.*, 1999, p. 16).

A moagem é o último estágio do processo de fragmentação, no qual as partículas são reduzidas, pela combinação de impacto, compressão, abrasão e atrito, a um tamanho adequado à liberação do mineral, geralmente, a ser concentrado nos processos subsequentes. Cada minério tem uma malha ótima para ser moído, dependendo de muitos fatores incluindo a distribuição do mineral útil na ganga e do processo de separação que vai ser usado em seguida. (FIGUEIRA, 2004, p. 152).

"Os moinhos empregados em cominuição de minérios de ouro no Brasil são moinhos de bolas" (CHAVES; *et al.*, 1999, p. 21)".

Os moinhos de bolas são aplicados na moagem de materiais que devem ser reduzidos a granulometrias finíssimas, com malha de controle de até 325 *mesh* (0,044 mm). Operam normalmente em circuito fechado e podem ser configurados para trabalho em via seca ou úmida. (MANUAL FURLAN, 2017, p. 2)

"A moagem a úmido é a mais usada em tratamento de minérios, por ser a forma mais econômica e mais adequada aos tratamentos posteriores". (LUZ *et al.*, 2010, p.195).

No regime de cascata, as cargas de bolas rolam entre si no sentido descendente, proporcionando melhor desempenho na moagem, sendo que no atrito obtido tende-se a ter uma moagem bem mais fina. (MAZZINGHY, 2009)

Justifica-se a importância de se determinar uma velocidade ótima de rotação do moinho, a fim de se maximizar a eficiência de moagem no regime de cascata. (BERALDO, 1987)

Quanto ao peneiramento, tem-se que ele é geralmente utilizado na separação por tamanho, para adequação de produto ou para adequação do processamento mineral.

Entende-se por peneiramento, a separação de um material em duas ou mais classes, estando estas limitadas uma superior e outra inferiormente.

No peneiramento a úmido adiciona-se água ao material a ser peneirado com o propósito de facilitar a passagem dos finos através da tela de peneiramento. O material retido na tela da peneira é denominado *oversize* e o passante, *undersize*. Os peneiramentos industriais a seco são realizados, normalmente, em frações

granulométricas de até 6 mm. Entretanto, é possível peneirar a seco com eficiência razoável em frações de até 1,7 mm. A úmido, o peneiramento industrial é normalmente aplicado para até 0,4 mm, mas recentemente tem sido possível peneirar partículas mais finas, da ordem de 50 μm . A determinação das faixas de tamanho das partículas é feita por meio de uma série de aberturas de peneiras que mantém entre si uma relação constante. Escala Tyler: esta escala foi proposta pela U.S. *Tyler Company*, dos Estados Unidos, grandes fabricantes de equipamentos, tendo como objetivo uniformizar o uso destas escalas, padronizando o que logo se tornou de uso corrente, não só nos Estados Unidos, mas no mundo todo. (SILVA, 2005, p. 8.)

O embasamento teórico referenciado foi fundamental para se atingir o objetivo deste estudo. Verificou-se que encontrar o tempo ótimo de residência do minério no processamento de moagem requer um gasto elevado com energia elétrica com a finalidade de atingir a granulometria ideal para o processo de tratamento do ouro.

Portanto, a partir deste estudo, serão realizados ensaios em caráter experimental, em triplicatas, com intervalos de tempos pré-definido e posterior análise granulométrica para conclusão das hipóteses aqui levantadas.

3 METODOLOGIA

No que diz respeito ao tipo de pesquisa o presente artigo buscou o tipo pesquisa aplicada, pois visa elucidar problemas específicos.

Quanto à abordagem do problema, desenvolveram-se ensaios laboratoriais de cominuição de amostras de minério de ouro, com intuito de determinar o tempo ótimo de moagem para atingir o P_{80} na malha de 200 *mesh*.

Os ensaios laboratoriais foram realizados na planta piloto de beneficiamento de minerais do SENAI, localizado em Nova Lima, MG. Os testes foram realizados a partir de uma amostra de minério de ouro sulfetado, oriunda da Mina de Lamego, de uma empresa mineradora de Sabará/MG. Para maior confiabilidade, serão realizados ensaios em triplicata.

O ensaio que se deseja validar neste trabalho necessita aproximadamente 6Kg de amostra de minério de ouro de rochas sulfetadas coletadas na Mina de Lamego.

O processo ocorrerá em etapas de bateladas em um circuito aberto de britagem primária, secundária e terciária a seco e com análise granulométrica por peneiramento entre as malhas 65, 100, 150 e 200 mesh. Buscando atingir um material passante 80% na malha de 200 mesh.

O processo foi executado seguindo a sequência: amostras de minério foram pesadas e submetidas ao processo de britagem primária, secundária e terciária, por meio de britadores de mandíbulas e de rolo. Após a britagem, o material foi pesado novamente a fim de verificar eventual perda de massa neste processo. Foi executado o processo de classificação em uma peneira vibratória de dois decks com abertura de 1/4" e 1/8", sendo submetido a uma análise granulométrica para a determinação do grau de redução e seguirá para o moinho de bolas. O moinho utilizado operou com fator de enchimento de 40% e em regime de cascata.

A primeira amostra permaneceu por sete minutos no moinho, a segunda 14 minutos e a terceira 21 minutos. Após esta etapa, as amostras foram encaminhadas para um processo de desaguamento em um filtro prensa e secagem na chapa aquecedora com temperatura de aproximadamente 300 °C.

O material foi classificado através do peneiramento em "vibrador suspenso" com peneiras da série Tyler de 65, 100,150 e 200 *mesh*, respectivamente, com a finalidade de determinar qual melhor tempo de moagem para atingir o P_{80} na peneira de 200 *mesh*, onde o material estará na granulometria adequada para o processo de tratamento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Execução das etapas

O processo de britagem, peneiramento, moagem, análises granulométricas seguiram as etapas propostas na metodologia conforme imagens abaixo e obtendo-se os seguintes resultados, citados a seguir:

Momento em que a amostra de 6,360Kg, é fracionada em três partes para realização do experimento.

Amostra inicial do minério de ouro a ser processado, ver figura 1.

Figura 1 – Amostra inicial de minério

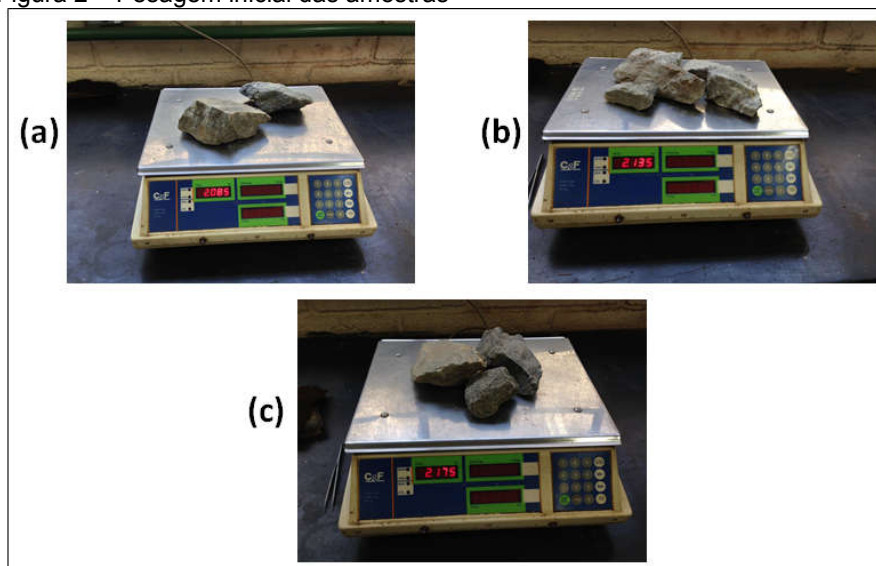


Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Nesta fase as frações do minério são pesadas e separadas para as etapas de britagem. Ver figura 2.

Pesagem inicial das amostras para realização dos ensaios em triplicata.

Figura 2 – Pesagem inicial das amostras



Legenda: (a) amostra 1;
(b) amostra 2;
(c) amostra 3.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Após realizar as etapas de britagem nos britadores realizou-se uma análise granulométrica para verificação de redução do minério.

Série de peneiras utilizadas para análise granulométrica. Ver figura 3.

Figura 3 – Peneiras e vibrador suspenso

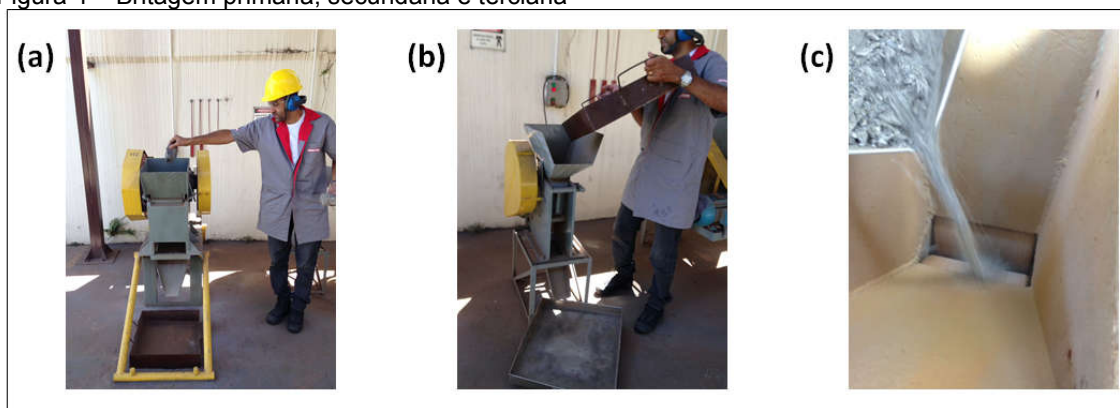


Legenda: (a) Vibrador suspenso
(b) Peneiras

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Etapas de britagem primária, secundária e terciária. Ver figura 4.

Figura 4 – Britagem primária, secundária e terciária



Legenda: (a) Britagem primária (Britador de mandíbulas)
(b) Britagem secundária (Britador de mandíbulas)
(c) Britagem terciária (Britador de rolos)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

Etapa de peneiramento e preparação da amostra para moagem. Nesta etapa o material foi britado em três fases, ver figura 5:

- Britador primário (mandíbula): tem abertura na posição aberta de 16,5cm e saída com 2,5cm.
- Britador secundário (mandíbula): tem abertura na posição aberta de 8,8cm e saída com 1,0cm.
- Britador terciário (rolos): Com abertura para alimentação do material de 12 cm e abertura de saída de 0,5cm.

Figura 5 – Peneiramento



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

Momento em que a amostras de minério iniciam o processo de moagem via úmida, conforme mostra a figura 6. Logo em seguida o desaguamento e a secagem para análise granulométrica com objetivo de atingir o P_{80} na malha de 200 *mesh*.

Preparação do moinho de bolas, ver figuras 6 e 7:

- Enchimento: 40 % de carga moedora
- Moagem: regime de catarata
- Filtração à vácuo: 5 minutos
- Secagem da amostra: média de 30 minutos

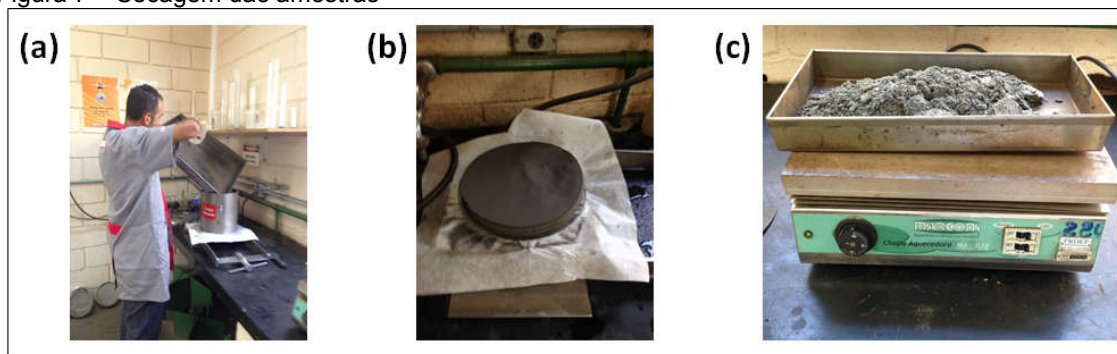
Figura 6 – Moagem



Legenda: (a) Bolas de aço para alimentação do moinho
 (b) Moinho de bolas preenchido com minério, água e bolas
 (c) Processo da moagem

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

Figura 7 – Secagem das amostras



Legenda: (a) Preparação para filtração à vácuo do material da moagem
(b) Material após filtração à vácuo
(c) Secagem da amostra em chapa aquecedora

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

Após finalização da secagem das amostras, conforme mostrado na figura 7, foram realizadas as análises granulométricas para conferência dos resultados, apresentados a seguir.

4.2 Análise granulométrica da britagem

Após realização da análise granulometria das etapas de britagem primária, secundária e terciária onde se calculou o grau de redução do material a partir das análises abaixo.

Nota-se que na britagem primária o material ficou bem distribuído entre as malhas das peneiras. Ver tabela 1.

Tabela 1 – Resultado da análise granulométrica da amostra inicial no peneiramento primário

AMOSTRA 1 - PENEIRAMENTO PRIMÁRIO					
Peneira	Abertura (mm)	Massa retida (g)	% Retida simples	% Retida acumulada	% Passante
1	25	575	26,56	26,56	73,44
2	19	515	23,79	50,35	49,65
3	12,7	390	18,01	68,36	31,64
4	9,5	185	8,55	76,91	23,09
5	3,35	290	13,39	90,30	9,70
	FUNDO	210	9,70	100,00	0,00
	TOTAL	2165	0	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

Analisando a britagem secundária identificou-se que o material não ficou bem distribuído, houve maior massa retida na primeira malha necessitando de ajustes na abertura na posição fechada do britador. Ver tabela 2.

Tabela 2 – Resultado da análise granulométrica da amostra inicial no peneiramento secundário

AMOSTRA 2 - PENEIRAMENTO SECUNDÁRIO					
Peneira	Abertura (mm)	Massa retida (g)	% Retida simples	% Retida acumulada	% Passante
1	3,35	1000	46,73	46,73	53,27
2	2,36	620	28,97	75,70	24,30
3	1,7	115	5,37	81,07	18,93
4	1,4	50	2,34	83,41	16,59
5	1	65	3,04	86,45	13,55
	FUNDO	290	13,55	100,00	0,00

TOTAL	2140	0,63	-	-
-------	------	------	---	---

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

Mostra-se, também na britagem terciária, mais de 50% do material retido na primeira malha que também indica necessidade de ajustes na saída do britador ou mesmo nos componentes que podem apresentar desgastes. Ver tabela 3.

Tabela 3 – Resultado da análise granulométrica da amostra inicial no peneiramento terciário

AMOSTRA 3 - PENEIRAMENTO TERCIÁRIO					
Peneira	Abertura (mm)	Massa retida (g)	% Retida simples	% Retida acumulada	% Passante
1	2,36	1090	53,04	53,04	46,96
2	1,7	295	14,36	67,40	32,60
3	1,4	65	3,16	70,56	29,44
4	1	140	6,81	77,37	22,63
5	0,2	90	4,38	81,75	18,25
FUNDO		375	18,25	100,00	0,00
TOTAL		2055	0,89	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

A relação de redução é dada por 80% do tamanho do material pela malha que deixa passar 80% do material. Ver tabela 4.

Tabela 4 – Relação de redução da operação de britagem

Grau de Redução			
Britador	F ₈₀	P ₈₀	GR
1	125,8	25	5,03
2	5,03	3,35	1,5
3	1,5	2,36	0,64

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Conforme dados da Tabela 4, quanto ao grau de redução dos britadores, percebe-se que o maior grau foi obtido nas britagens primária e secundária, demonstrando que o P₈₀ foi maior também na primeira etapa da cominuição.

4.3 Análise granulométrica da moagem

Ao realizar o processo de moagem em regime de cascata após a britagem nos intervalos de 7, 14 e 21 minutos de residência ainda apresentava sólidos bem grosseiros que não foram devidamente fragmentados nas etapas de britagem, sendo assim, o P_{80} na malha de 200 *mesh* não foi alcançado conforme demonstrado na tabela 5.

Tabela 5 – Resultado da análise granulométrica da moagem após 7 minutos de operação do moinho

Ensaio moinho de bolas tempo 7 minutos					
Abertura (<i>mesh</i>)	Abertura (mm)	Massa retida (g)	% Retida	% Retida acumulada	% Passante
80	0,180	1355	68,26	68,26	31,74
100	0,147	65	3,27	71,54	28,46
150	0,104	95	4,79	76,32	23,68
200	0,074	95	4,79	81,11	18,89
FUNDO	< 0,074	375	18,89	100,00	0,00
TOTAL	-	1985	100,00	0,00	-

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Na tabela 6 o material passante na malha de 200 *mesh* não chega a 25%, entretanto, é possível identificar um crescimento em relação ao primeiro ensaio de sete minutos de residência.

Tabela 6 – Resultado da análise granulométrica da moagem após 14 minutos de operação do moinho

Ensaio moinho de bolas tempo 14 minutos					
Abertura (<i>mesh</i>)	Abertura (mm)	Massa retida (g)	% Retida	% Retida acumulada	% Passante
80	0,180	1220	60,85	60,85	39,15
100	0,147	70	3,49	64,34	35,66
150	0,104	115	5,74	70,07	29,93
200	0,074	120	5,99	76,06	23,94
FUNDO	< 0,074	480	23,94	100,00	0,00
TOTAL	-	2005	100,00	0,00	-

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

O resultado da análise apresentado na tabela 7, com 21 minutos de residência na moagem, mostrou melhoria na fragmentação em relação as etapas anteriores, mas sem atingir o P_{80} proposto.

Tabela 7 – Resultado da análise granulométrica da moagem após 21 minutos de operação do moinho

Ensaio moinho de bolas tempo 21 minutos					
Abertura (mesh)	Abertura (mm)	Massa retida (g)	% Retida	% Retida acumulada	% Passante
80	0,180	890	44,28	44,28	55,72
100	0,147	85	4,23	48,51	51,49
150	0,104	140	6,97	55,47	44,53
200	0,074	160	7,96	63,43	36,57
FUNDO	< 0,074	735	36,57	100,00	0,00
TOTAL	-	2010	100,00	0,00	-

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Diante dos resultados alcançados nos testes que envolviam os tempos de 7, 14 e 21 minutos anteriores decidiu-se realizar um novo teste com um período de tempo maior com intervalo de 28 minutos de residência no moinho.

A tabela 8 apresenta os resultados da análise granulométrica do material moído após 28 minutos de residência, com as mesmas condições apresentadas anteriormente. Conforme análise dos dados da tabela 8 foi possível atingir o P_{80} na malha desejada somente após 28 minutos de operação no moinho.

Tabela 8– Resultado da análise granulométrica da moagem após 28 minutos de operação moinho

Ensaio moinho de bolas tempo de 28 minutos					
Abertura (mesh)	Abertura (mm)	Massa Retida (g)	% Retida	% Retida acumulada	% Passante
80	0,18	155	7,67%	7,67%	92,33%
100	0,147	105	5,20%	12,87%	87,13%
150	0,104	75	3,71%	16,58%	83,42%
200	0,074	45	2,23%	18,81%	*(81,19%)
FUNDO	< 0,074	1640	81,19%	100,00%	0,00%
TOTAL	-	2020	100	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

* Percentual de 81,19% de material passante na peneira de 200 mesh.

4.4 Análise por difração de raio X e microscópica das amostras

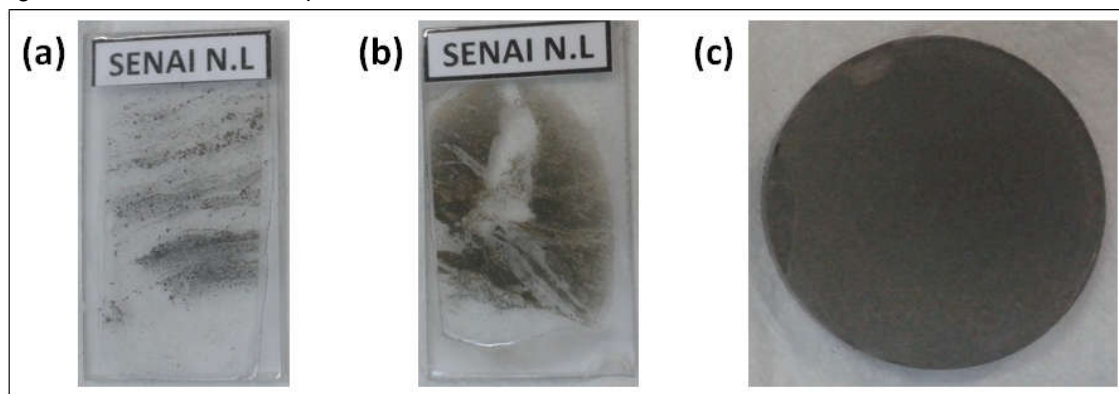
Conforme os procedimentos de moagem foram realizados os critérios de amostragem e coletado uma amostra para uma análise química de difração por raio X no laboratório do Centro de Inovação Tecnológica (CIT) para verificar os elementos contidos nas amostras do minério que foram submetidas ao teste. Ver quadro 1 e figura 8.

Quadro 1 – Resultado da análise química por difração de raio X

Análise química por Difração de Raio X		
Elemento	Símbolo	Faixa percentual
Silício	Si	Acima de 40 %
Ferro	Fe	Entre 20 e 30 %
Cálcio	Ca	Entre 15 e 20 %
Alumínio, Enxofre, Manganês	Al, S, Mn	Entre 1 e 5 %
Arsênio, Potássio, Zinco, Estrôncio	As, K, Zn, SR	Abaixo de 1 %
Ouro	Au	Traços (<2 ppm)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Figura 8 – Análise microscópica da amostra



Legenda: (a) Lâmina de análise microscópica 1
 (b) Lâmina de análise microscópica 2
 (c) Pastilha de análise por Raio X

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

A análise química apresentada pelo Centro de Inovação Tecnológica (CIT) foi apenas para composição da rocha, não sendo necessária a exatidão da mesma, sendo apresentado somente valores possíveis dos elementos citados no quadro 1.

5 CONCLUSÃO

Conclui-se que, a partir dos resultados dos experimentos, para atingir a granulometria adequada do minério para atendimento ao processo de lixiviação por cianetação, o melhor tempo de residência no moinho de bolas para obtenção do material 80% passante na malha de 200 *mesh*, deverá ser maior que os 21 minutos propostos inicialmente.

A partir dos dados obtidos nas análises granulométricas conclui-se que as aberturas de saída dos britadores necessitam de ajustes, bem como os componentes de atrito as ranhuras das mandíbulas precisando de reparo devido aos desgastes, com a finalidade de alcançar uma melhor eficiência na fragmentação inicial do material, facilitando, assim, a alimentação do moinho com material mais fino e, conseqüentemente, melhorando a eficiência e redução do tempo de operação do moinho.

Como os resultados apresentados nos tempos 7, 14 e 21 não foram satisfatórios optou-se por refazer com um tempo de 28 minutos, onde foi possível obter um resultado satisfatório, atingindo uma granulometria passante acima de 80% na malha de 200 *mesh*.

A realização de testes para melhoria de processos dentro da mineração deve acontecer de maneira periódica, pois somente a partir de análises fundamentadas é que se torna possível redução de tempos e, conseqüentemente, de custos operacionais.

6 REFERÊNCIAS

ARAÚJO NETO, H.. **Relatório Técnico 28** – Perfil do Ouro. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME) 2009.

BERALDO, J. L. **Moagem de Minérios em Moinhos Tubulares**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1987.

CARRISSO, Regina Coeli C.; CORREIA, Julio César G.. Centro de Tecnologia Mineral. **Classificação e Peneiramento: Tratamento de Minério**. 4. ed. Rio de Janeiro: Cetem, 2004. 43 p.

CHAVES, Arthur Pinto; PERES, Antonio Eduardo Clark; LINS, Fernando Antonio Freitas; TOREM, Maurício Leonardo. **Beneficiamento de Minérios de Ouro**. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/handle/cetem/1219/extracao-ouro_cap.2.pdf?sequence=1>. Acesso em: 01 maio 2017.

FIGUEIRA, H. V. O.; ALMEIDA, S. L. M.; LUZ, A. B. Cominuição. In: LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; ALMEIDA, S. L. M. **Tratamento de Minérios**. 4 ed. Rio de Janeiro: CETEM-CNPq-MCT, 2004. Capítulo 4, páginas 113-194

FRANÇA, Júnia Lessa; VASCONCELLOS, Ana Cristina de; BORGES, Stella Maris; MAGALHÃES, Maria Helena de Andrade. **Manual para normalização de publicações técnico-científicas**. 9. ed. rev. e ampl. Belo Horizonte: UFMG, 2013.

GRANATO, Marcus. Centro de Tecnologia Mineral - Cetem. **Metalurgia Extrativa do Ouro**. Brasília: Departamento Nacional da Produção Mineral, 1986. 79 p.

LUZ, Adão Benvindo da; SAMPAIO, João Alves; FRANÇA, Silvia Cristina Alves. **Centro de Tecnologia Mineral. Tratamento de Minérios**. 5. ed. Rio de Janeiro: Cetem, 2010. 960 p.

MANUAL FURLAN. Disponível em: <http://furlan.com.br/wp-content/themes/temabase/pdf/moinhos_bolas_barras.pdf> Acesso em: 1 de maio de 2017.

MAZZINGHY, Douglas Batista. **Modelagem e Simulação de Circuito de Moagem Através da Determinação dos Parâmetros de Quebra da Energia Específica de Fragmentação**. 2009. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Escola de Engenharia da UfmG, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

SCHUMANN, Walter. **Guia dos Minerais**. Barueri, Sp: Disal, 2008. 137 p.

SILVA, André Carlos. **Simulação de Moagem Implementada a Partir do Modelo de Austin**. 2003. Disponível em: <http://repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/3119/1/DISSERTAÇÃO_SimulaçãoMoagemImplementada.pdf>. Acesso em: 01 maio 2017.

SILVA, Jaime Geraldo. **Centro de Formação Profissional Afonso Greco (Comp.)**. Preparação. Nova Lima: Senai, 2005. 64 p.