

AVALIAÇÃO DO CIRCUITO DE MOAGEM CLASSIFICAÇÃO E CONCENTRAÇÃO GRAVIMÉTRICA DA JACOBINA MINERAÇÃO E COMÉRCIO

E.B. de Jesus¹, L.R.P. de Andrade Lima¹, E.A. Alves Junior²

¹Departamento de Ciência e Tecnologia dos Materiais, Universidade Federal da Bahia
Rua Aristides Novais, n. 2, Salvador, Bahia, CEP: 40210-640. e-mail: lelo@ufba.br

²Jacobina Mineração e Comércio, Yamana Gold
Fazenda Itapicuru, s/n, Jacobina, Bahia, CEP: 44700-000. e-mail: edvaldo.junior@yamana.com

RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados de uma avaliação de um dos circuitos de moagem-classificação e concentração gravimétrica da Jacobina Mineração e Comércio (JMC) obtidos a partir de duas campanhas de amostragem realizadas em novembro de 2009. A usina da JMC trata 6.500 t/dia de minério e está passando por modificações para aumentar a produção para 10.000 t/dia. A planta de beneficiamento é dotada de dois circuitos fechados de moagem-classificação e concentração gravimétrica (concentrador centrífugo) que trabalham em paralelo. Foram coletadas amostras de sólidos e polpa que foram usadas para determinação da concentração de sólidos, teores médios de ouro e análise granulo-química. Durante as campanhas de amostragem parâmetros operacionais foram registrados e utilizados para o balanço de massa do circuito. Os resultados revelam que existe uma diferença significativa entre a carga circulante do minério e das partículas de ouro no circuito e que a partição das partículas de ouro no hidrociclone é superior a 96% ocorrendo em todas as faixas de tamanho. Foi notado que a configuração atual do circuito não favorece a recuperação do ouro na concentração gravimétrica. A recuperação gravimétrica pode ser maior caso o concentrador centrífugo seja alimentado pela corrente do *underflow* do hidrociclone.

PALAVRAS-CHAVE: Ouro, Concentração Gravimétrica, Moagem, Classificação.

1. INTRODUÇÃO

Os concentradores centrífugos são cada vez mais comuns nas plantas de beneficiamento de minérios auríferos sendo recomendados para concentração de partículas de 3 a 6000 μm (Lins et al, 1992; Laplante and Gray, 2005). Nos circuitos fechados de moagem-classificação que usam hidrociclones pode ocorrer cargas circulantes elevadas para os minerais de maior densidade devido ao mecanismo de classificação inerente ao classificador. De acordo com Laplante (2000), nos circuitos de moagem-classificação sem a presença de concentrador gravimétrico, as partículas de ouro acima de 75 μm circulam entre 50 a 100 vezes antes de serem retiradas do circuito o que resulta em uma carga circulante de 2000 a 8000%. Xiao (2001), afirma que nos hidrociclones mais de 98% das partículas de ouro são direcionadas para a fração grosseira da classificação e 65 a 95% das partículas abaixo de 25 μm seguem o mesmo caminho. A lenta saída das partículas de ouro do circuito de moagem-classificação e a ductilidade de várias de suas ligas causam um aumento da retenção de ouro no moinho, sobretudo entre o revestimento e a carcaça, e uma possível passivação de sua superfície o que pode influenciar na sua posterior lixiviação (Banisi et al., 1991).

Trabalhos anteriores relataram a presença de elevadas cargas circulantes de ouro em circuito de moagem-classificação fechados por hidrociclones, sem a presença de concentrador gravimétrico. Banisi et al. (1991) relatou que a carga circulante das partículas de ouro no circuito de Hemlo Gold Mines foi próximo a 6700% e que o diâmetro de corte das partículas de ouro no hidrociclone era de 57 μm . Essas partículas eram reduzidas lentamente até atingirem o tamanho suficiente para serem influenciadas pelos mecanismos da classificação. Posteriormente de Andrade Lima (2006) e de Andrade Lima e Hodouin (2006) constataram que a distribuição dos teores de ouro no *underflow* do hidrociclone secundário, que fecha o circuito de moagem da planta da Mina Doyon (Cambior Inc.) era significativamente maior que a distribuição dos teores de ouro no *overflow* do hidrociclone. Neste tipo de circuito, a presença de concentrador gravimétrico é recomendada para evitar a desnecessária circulação do ouro. De acordo com Xiao (2001) os equipamentos de concentração gravimétrica de ouro nos circuitos de moagem e classificação podem ser localizados: i) na alimentação de moinhos de bolas após a moagem semi-autogena; ii) na descarga do moinho de bolas; iii) no *underflow* do hidrociclone.

A Jacobina Mineração e Comércio (JMC) – Yamana Gold Inc. – é uma empresa que atua na lavra e beneficiamento de ouro e está localizada na cidade de Jacobina, Bahia. As jazidas de ouro lavradas pela JMC estão localizadas na Serra de Jacobina (minas de João Belo, Morro do Vento, Canavieiras e Basal). As mineralizações são predominantemente compostas por silicatos (quartzo, muscovita, sericita e fushita), e pequenas quantidades de sulfetos (pirita, calcocita, calcopirita, galena e molibdenita). O ouro ocorre como grãos arredondados e subarredondados com diâmetros entre 0,03 a 0,3 milímetros (de Jesus, 2009).

A planta de beneficiamento da JMC processa 6500 t/dia de minério e sua capacidade está sendo ampliada para 10000 t/dia. A planta é dotada de dois circuitos fechados de moagem-classificação e concentração gravimétrica que trabalham em paralelo (Figura 1). O moinho do circuito de menor capacidade tem 3,81 metros de diâmetro e 6,71 metros de comprimento e trabalha com uma carga de bolas estimada em 100 toneladas. A vazão de sólidos média da alimentação deste circuito é 90 t/h. O moinho do circuito de maior capacidade tem 4,88 metros de diâmetro e 9,14 metros de comprimento e trabalha com uma carga de bolas estimada em 210 toneladas. A vazão de alimentação média deste circuito é 180 t/h. Em ambos os circuitos a concentração de sólidos na alimentação do moinho é de 78% e a reposição dos corpos moedores é feito com monotamanho de 76,2 mm. Fechando os circuitos

existem hidrociclones da Krebs modelo gMAX-D26 com vortéx-finder de 12" e apex de 7 ¼". Os equipamentos de concentração centrífuga são semi-contínuos da Knelson modelo KC-CD20MS. Os circuitos são alimentados por um minério com tamanho (d_{80}) de 12,5 mm. O produto deste circuito possui tamanho (d_{80}) inferior a 105 μm e é encaminhado para a etapa de lixiviação em tanque agitado. Parte do minério descarregado pelo moinho é peneirado para separar partículas maiores que 4,0 mm. O material abaixo de 4,0 mm alimenta os concentradores centrífugos e a fração maior que 4,0 mm retorna a caixa de descarga do moinho. O minério de baixo teor, rejeito da concentração gravimétrica, retorna à caixa de descarga enquanto o concentrado é conduzido à etapa de lixiviação intensiva (com turbulência, alta concentração de cianeto, alta concentração de oxigênio, temperatura elevada e presença de catalisador) para posterior eletro-recuperação e fundição. Na planta da JMC, a produção de ouro atribuída à etapa de concentração gravimétrica e lixiviação intensiva é da ordem de 40 a 45% e a recuperação da usina, incluindo concentração gravimétrica e lixiviação, é próxima a 91%.

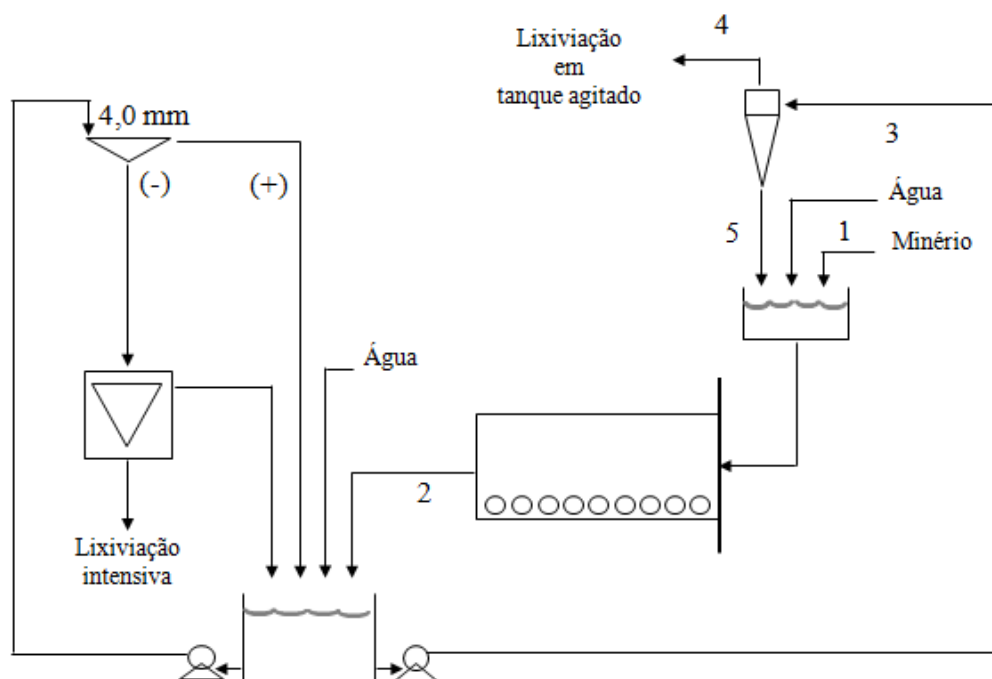


Figura 1: Fluxograma do circuito de moagem-classificação-concentração gravimétrica da JMC

Neste trabalho, foi avaliada a circulação do ouro no circuito de moagem-classificação e concentração gravimétrica da Jacobina Mineração e Comércio (JMC) a partir dos resultados de campanhas de amostragens especificamente realizadas na usina em novembro de 2009 para este estudo.

2. METODOLOGIA

Para avaliar o circuito de moagem-classificação e concentração gravimétrica da JMC, foram realizadas duas campanhas de amostragem no circuito de maior capacidade de produção (o que trata cerca de 180 t/h). A primeira campanha de amostragem foi realizada visando ter uma idéia global do circuito e da distribuição dos teores de ouro nas diversas correntes. A segunda campanha foi realizada visando fornecer uma melhor compreensão da circulação do ouro no circuito. A Figura 1 apresenta a localização dos pontos de amostragem que foram considerados neste estudo, que correspondem a: (1) correia transportadora da alimentação do moinho, (2) descarga do moinho, (3) alimentação do hidrociclone, (4) *overflow* do hidrociclone e (5) *underflow* do hidrociclone. Em ambas as campanhas,

os incrementos de polpa foram coletados manualmente em intervalos de tempo regulares, ao longo de duas horas e quinze minutos, com volume aproximado de 2,5 litros. Na primeira campanha, foram coletados sete incrementos em cada ponto de amostragem realizados a cada 20 minutos e na segunda, foram coletados nove incrementos, realizadas a cada 15 minutos. As amostras de sólidos foram coletadas no momento inicial das campanhas sendo suas massas 50 e 60 kg para a primeira e segunda campanha, respectivamente. Durante a coleta dos incrementos, foram registradas as vazões mássicas de sólidos na alimentação do moinho, a vazão de água na caixa de alimentação do moinho, bem como a vazão volumétrica da polpa na alimentação do hidrociclone.

Em todas as amostras de sólido os teores de ouro, foram determinados por *fire assay* e as distribuições granulométricas foram determinadas por peneiramento usando um ro-tap e a seguinte série de peneiras: 1/2", 5/16", 14#, 28#, 48#, 65#, 100#, 150#, 200# e 270#. Foram determinados os teores médios de ouro em cada amostra da primeira campanha e os teores por faixa granulométrica nas amostras da segunda campanha.

Para o balanço de massa, foram admitidas as seguintes hipóteses: i) a quantidade de sólidos removidos na concentração gravimétrica é pequena, quando comparada com as vazões mássicas da polpa, ii) a quantidade de água adicionada na caixa de alimentação do moinho representa a água de diluição do *underflow* do hidrociclone e a água diretamente adicionada à caixa de alimentação do moinho, iii) a quantidade de água adicionada à caixa de descarga da bomba representa a soma da água adicionada na peneira, no concentrador centrífugo e diretamente na caixa da bomba. O balanço de massa foi feito através de balanços locais e posteriormente foi feita a reconciliação dos dados considerando os balanços de massa do minério e da água (Narasimhan e Jordache, 2000; de Andrade Lima, 2006; de Jesus, 2009).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores medidos e reconciliados (ajustados) da primeira campanha de amostragem são apresentados na Tabela I. Os teores de ouro apresentados não foram reconciliados. Os resultados revelam que a vazão de sólidos no *underflow* é 320% maior que a vazão de alimentação do circuito. O alto teor de ouro associado à alta vazão de sólidos no *underflow* produz uma elevada carga circulante deste metal alcançando 1100%. Os teores médios de ouro nas correntes do circuito revelam que o concentrador centrífugo remove 18,3% de ouro da corrente de descarga do moinho diminuindo o teor médio no fluxo de alimentação do hidrociclone. Nota-se ainda que o teor de ouro na corrente do *overflow* do hidrociclone é relativamente baixo, porém, 60,6% do ouro sai do circuito por esta corrente sendo em seguida encaminhado para a etapa de lixiviação em tanque agitado. A soma das parcelas de ouro removido não expressa à totalidade do ouro no circuito, de modo que 21,1% podem estar sendo acumulado no circuito. Outro fato interessante corresponde a diferença existente entre os teores de ouro no *overflow* e no *underflow* do hidrociclone. O teor médio de ouro no *underflow* é cerca de nove vezes maior do que o teor médio do ouro no *overflow*. A Figura 2 mostra o fluxograma quantitativo com os resultados do balanço de massa, do d_{80} e dos teores de ouro medidos nas correntes do circuito.

Tabela I: Valore medidos e reconciliados da primeira campanha de amostragem

	Vazão Mássica de Sólidos (t/h)		Concentração de Sólidos (%)		Concentração de ouro (g/t)
	Medido	Ajustado	Medido	Ajustado	
Alimentação do Moinho	180	180	-	-	1,88
Descarga do Moinho	-	758	74	76	4,47
Alimentação do Hidrociclone	-	758	51	53	3,65
<i>Overflow</i> do Hidrociclone	-	180	33	25	0,74
<i>Underflow</i> do Hidrociclone	-	578	82	80	6,62

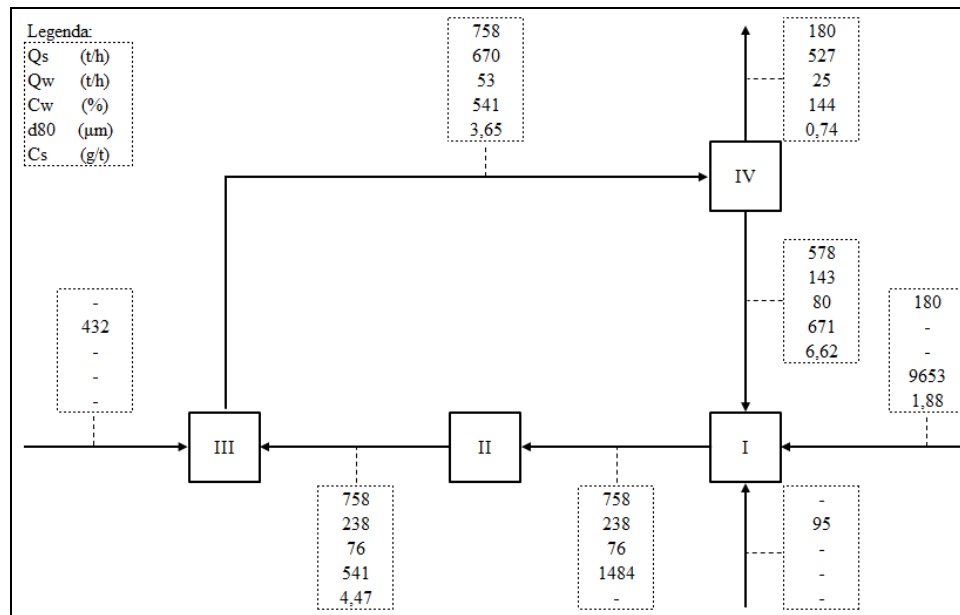


Figura 2: Balanço de massa da primeira campanha de amostragem. I – caixa de alimentação do moinho; II – moinho de bolas; III – caixa de descarga do moinho; IV – hidrociclone

A Tabela II apresenta os valores medidos e reconciliados da segunda campanha de amostragem.

Tabela II: Valores medidos e reconciliados (ajustados) da segunda campanha de amostragem

	Vazão Mássica de Sólidos (t/h)		Concentração de Sólidos (%)	
	Medido	Ajustado	Medido	Ajustado
Alimentação do Moinho	189	190	-	-
Descarga do Moinho	-	593	86	86
Alimentação do Hidrociclone	-	593	42	45
<i>Overflow</i> do Hidrociclone	-	190	22	22
<i>Underflow</i> do Hidrociclone	-	403	92	92

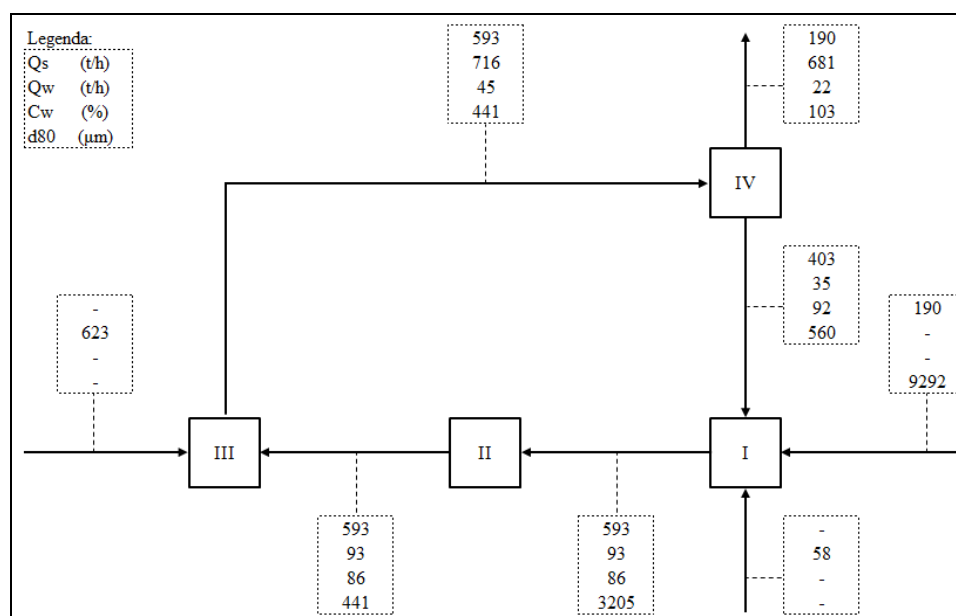


Figura 3: Balanço de massa da segunda campanha de amostragem. I – caixa de alimentação do moinho; II – moinho de bolas; III – caixa de descarga do moinho; IV - hidrociclone

A Figura 3 mostra o fluxograma quantitativo com os resultados do balanço de massa, e do d_{80} nas correntes do circuito. A comparação entre os valores obtidos na primeira e na segunda campanha de amostragem mostram certa variabilidade nas vazões mássicas de sólidos e nas concentrações de sólidos. Na primeira campanha, a concentração de sólidos na alimentação do moinho foi 76% enquanto que na segunda esse valor foi 86%. A concentração de sólidos na alimentação do hidrociclone foi 53% na primeira campanha e 45% na segunda. Essas variações associadas às diferentes vazões de polpa na alimentação do hidrociclone impactaram no tamanho das partículas do minério no *overflow* do hidrociclone. Na primeira campanha o d_{80} encontrado foi 144 μm , acima do diâmetro de corte, enquanto na segunda campanha o d_{80} foi 103 μm , abaixo do diâmetro de corte.

A Figura 4 mostra a distribuição granulométrica do minério no hidrociclone obtido na segunda campanha de amostragem. Verifica-se nesta figura que o d_{80} da descarga do moinho e do *underflow* do hidrociclone são, respectivamente, 441 e 560 μm e que mais de 80% das partículas direcionadas ao *overflow* do hidrociclone estão abaixo do diâmetro de corte do hidrociclone (105 μm).

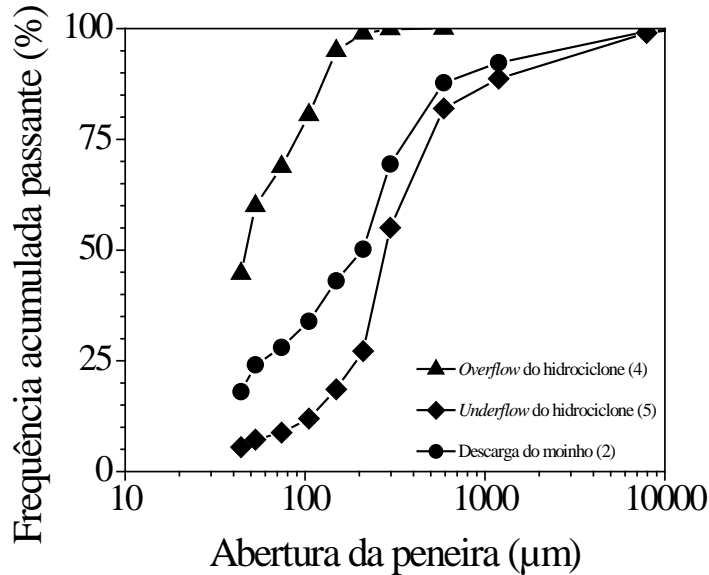


Figura 4: Distribuição de tamanhos das partículas no circuito da JMC

A Figura 5 mostra a distribuição dos teores de ouro por faixa de tamanho nas correntes dos produtos do hidrociclone e descarga do moinho. As curvas mostram a ação concentradora do hidrociclone. A distribuição dos teores de ouro, por faixa tamanho, do *underflow* é significativamente maior que a do *overflow* do hidrociclone, sendo os teores tanto maior quanto menor a faixa granulométrica. Esta ação do hidrociclone resulta na elevação da concentração de ouro na descarga do moinho, que é mais elevada nas partículas finas, devido à liberação causada pelos mecanismos da moagem e o retorno da maior parte dessas partículas, através do *underflow* do hidrociclone na carga circulante. Esse processo se repete até que o ouro atinja o tamanho suficiente para ser submetido aos fenômenos da classificação, ser retirado do circuito através do concentrador centrífugo ou ser aprisionado no interior do moinho.

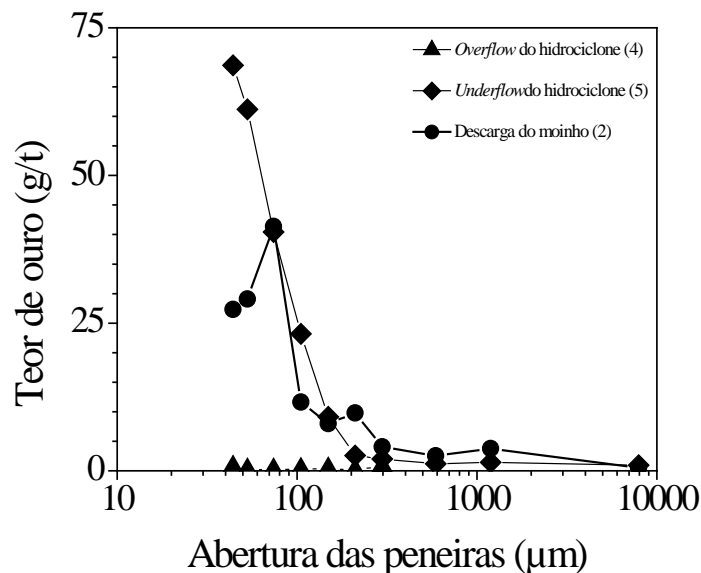


Figura 5: Distribuição dos teores de ouro nos produtos da classificação e moagem

A Figura 6 apresenta a distribuição dos teores de ouro das correntes da descarga do moinho e da alimentação do hidrociclone. A diferença de teores observada, em todas as faixas granulométricas, pode ser atribuída à ação do concentrador centrífugo. Durante a passagem do minério no concentrador, as partículas de ouro livre e parcialmente liberadas são retidas e um fluxo de material empobrecido retorna a caixa de descarga do moinho, reduzindo o teor geral da alimentação do hidrociclone. As curvas mostram que esta remoção se dá em todas as faixas de tamanho ocorrendo preferencialmente nas partículas abaixo de 105 μm . Esta observação pode ser confirmada pelos valores do teor médio de ouro obtido na primeira campanha, onde a corrente de descarga do moinho apresenta teor de 4,47 g/t e a alimentação do hidrociclone de 3,65 g/t.

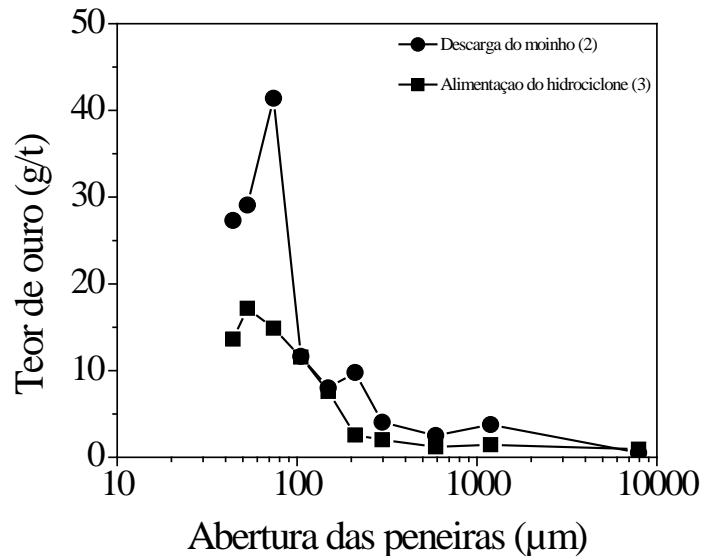


Figura 6: Distribuição dos teores de ouro na descarga do moinho e alimentação do hidrociclone

A Figura 7 mostra a curva de partição do minério no hidrociclone. A curva mostra que as partículas de sólidos acima de 103 μm são direcionadas, preferencialmente, para o *underflow* da classificação. Sendo o d_{80} requerido para o circuito de 105 μm pode-se inferir que as condições vigentes no momento da amostragem foram suficientes para garantir uma boa separação no processo.

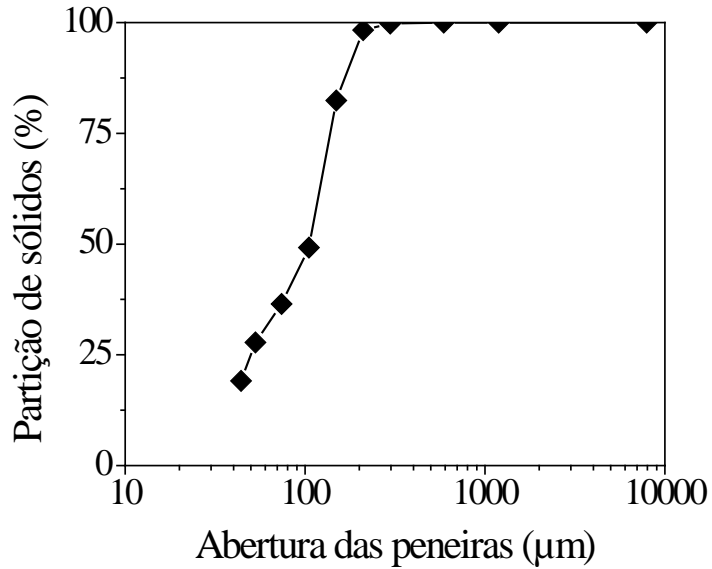


Figura 7: Curva de partição dos sólidos no hidrociclone

A Figura 8 mostra a curva de partição das partículas de ouro no hidrociclone. A curva mostra que mais de 96% do ouro é direcionado para o *underflow*, sendo este comportamento mais pronunciado nas partículas maiores que 53 μm , com partição superior a 98%. O diâmetro de corte das partículas de ouro é menor que 44 μm , sendo muito inferior ao diâmetro de corte das outras partículas do minério. Os valores de diâmetro de corte obtido para o ouro na usina da JMC são menores que estes relatados por Banisi et al. (1991).

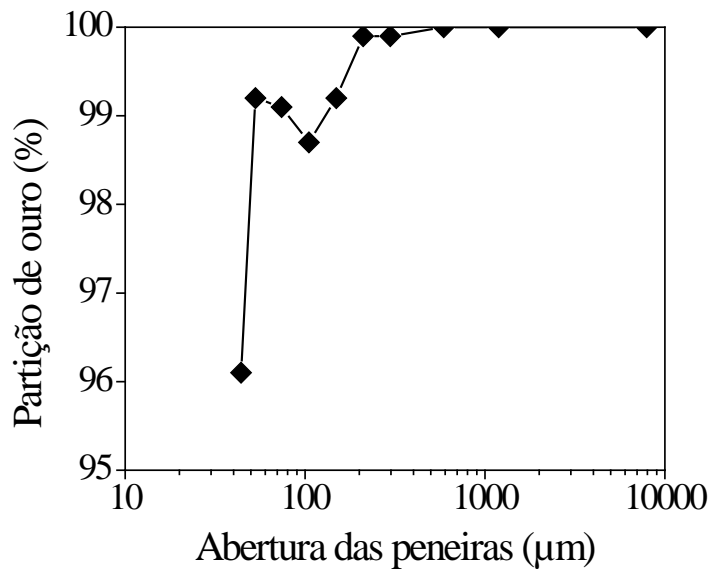


Figura 8: Curva de partição do ouro no hidrociclone

4. CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta os resultados de uma avaliação realizada no circuito de moagem-classificação e concentração gravimétrica da usina da JMC. Os resultados de duas campanhas de amostragem mostram que o hidrociclone atua como um pré-concentrador gravimétrico direcionando, preferencialmente, as partículas de ouro para o *underflow*. A curva de partição do ouro mostra que mais de 96% das partículas são direcionadas para o *underflow* e que seu diâmetro de corte é muito inferior ao das partículas minerais que compõem o minério, o que explica a elevada carga circulante de ouro de cerca de 1100%. Foi notado também que a configuração atual do circuito não favorece a recuperação do ouro na concentração gravimétrica. A diferença de teor médio observado nas diferentes correntes do circuito indica que a recuperação gravimétrica pode ser maior caso o concentrador centrífugo seja alimentado pela corrente do *underflow* do hidrociclone. Esta modificação resultaria no aumento da recuperação global da planta além de promover um retorno de capital mais rápido em virtude da rápida retirada do ouro do circuito.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Jacobina Mineração e Comércio na realização deste estudo e a colaboração de Antônio Marcos Lopes e Francisco Johnson.

5. REFERÊNCIAS

- Banisi, S., Laplante, A.R., Marois, J. The behaviour of gold in Hemlo Mines Ltd. grinding circuit, *CIM Bulletin*, 84(955), p. 72 – 78, 1991.
- de Andrade Lima, L.R.P., Nonlinear data reconciliation in gold processing plants. *Minerals Engineering*, 19, p. 938 – 951, 2006.
- de Andrade Lima, L.R.P., Hodouin, D. Analysis of the gold recovery profile through a cyanidation plant. *International Journal of Mineral Processing*, 80, p. 15- 26, 2006.
- de Jesus, E.B., Avaliação do circuito de moagem e classificação da Jacobina Mineração e Comércio. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia de Minas, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2009.
- Laplante, A.R., Ten do's and don'ts of gold gravity recovery, Randol Gold & Silver Forum, Vancouver, Canada, 2000.
- Laplante, A., Gray, S., Advances in gravity gold technology, in: Advances in Gold Ore Processing, Advances in Gold Ore Processing, Ed. M.D. Adams, *Developments in Mineral Processing*, v. 15, p. 280-307, 2005
- Lins, F.F., Costa, L.S.N., Delgado, O.C., Gutierrez, J.M.A., Concentrador Centrífugo - Revisão e Aplicações Potenciais, Série Tecnologia Mineral, CETEM, v. 55, 1992.
- Narasimhan, S., Jordache, C., Data reconciliation and gross error detection: An intelligent use of process data. Gulf Publishing Company, TX , 2000.
- Xiao, Z., Developing simple regressions for predicting gold gravity recovery in grinding circuit. Master of Engineering Thesis, McGill University, Montreal, 2001.