

CAPÍTULO 15 – ENSAIOS DE JIGUES

João Alves Sampaio

Engenheiro de Minas/UFPE, Mestre e Doutor em
Engenharia Metalúrgica e de Materiais/COPPE-UFRJ
Tecnologista Sênior do CETEM/MCT

Silvia Cristina Alves França

Engenheira Química/UFS, Mestre e Doutora em
Engenharia Química/COPPE-UFRJ
Tecnologista III CETEM/MCT

Antônio Odilon da Silva

Técnico Químico/AFE - Associação Fluminense de Educação
Técnico Químico do CETEM/MCT

1. INTRODUÇÃO

Nos primórdios da mineração, o minério moído misturado com água sob agitação em recipientes rudimentares já revelava que as partículas mais pesadas concentravam-se no fundo desses recipientes. Posteriormente, descobriu-se que o recipiente com fundo poroso, dotado de pulsação ascendente e descendente, produziria uma separação mais eficiente e rápida. Nascia, então, a era da jigagem na sua forma primitiva. Esse método de concentração de minérios teve o seu apogeu durante todo o século XX, no entanto, ainda hoje, é utilizado com sucesso nos casos em que a escala de produção, a granulometria e a diferença de densidade dos minerais permitem a sua aplicação.

Na jigagem, os minerais de minério mais densos, quando liberados, repousam sobre uma superfície perfurada, chamada de tela, formando um leito com profundidade algumas vezes maior que o diâmetro da maior partícula do minério. Esse leito, submerso em água, é submetido a um movimento pulsante (ascendente e descendente), com o propósito de causar o movimento das partículas mais densas para o fundo da célula do jig. As partículas mais leves do minério concentram-se no topo do leito. Outros fluidos podem ser utilizados, entretanto, é a água universalmente utilizada nesse processo (Kelly, 1982; Lins *et al.*, 2004; Aplan, 2003; Sampaio e Tavares, 2005).

Hoje, o jig é utilizado com sucesso na pré-concentração de minérios, dentro dos seus limites granulométricos. O equipamento possui construção barata, além de operação e manutenção relativamente simples. Mesmo assim, para o sucesso da operação, exige-se um operador treinado e hábil. Os equipamentos modernos possuem dispositivos especiais que facilitam, de forma significativa, o trabalho do operador, todavia a jigagem continua a ser uma arte.

Na prática, a distribuição granulométrica e a densidade das partículas do minério são os elementos básicos para a otimização do processo. Não obstante, há que se otimizar a velocidade de pulsação e a amplitude do equipamento, dentre outros. Em todas as circunstâncias, tornam-se indispensáveis estudos em laboratórios e unidade piloto (Burt, 1984).

Neste capítulo encontram-se os procedimentos básicos para realização de ensaios unitários de jigagem em escala piloto.

2. AMOSTRAGEM E PREPARAÇÃO

A quantidade de amostra utilizada nos testes deve ser representativa do jazimento e, na prática, quanto maior a amostra, mais confiável é o resultado obtido. A quantidade da amostra depende da capacidade de processamento do equipamento utilizado e da finalidade dos estudos. Na realização de testes preliminares em escala piloto numa operação unitária, uma amostra de 50 kg de minério é suficiente.

A preparação da amostra depende da aplicação do teste. Em casos particulares são usadas amostras com a granulometria abaixo de 75 mm, entretanto, o mais usual é o emprego de amostra com granulometria abaixo de 25 mm ou mais fina.

Em princípio, a amostra deve ser fragmentada, com a finalidade de produzir uma alimentação com granulometria abaixo de 25 mm, desde que esteja assegurada a liberação do mineral útil, para não haver perda na fração com granulometria acima de 25 mm. A deslamagem é necessária quando há argila no minério. A quantidade excessiva de argila pode aumentar a densidade da suspensão água/argila, bem como a viscosidade, prejudiciais à separação. A classificação do minério depende da aplicação, seleção do equipamento e da diferença de densidade entre os minerais a serem separados e aqueles que compõem a ganga.

3. EQUIPAMENTO

Há no mercado uma variedade em tamanho e formas de jigues que são usados nos estudos de concentração de minérios. São encontrados equipamentos, cujas células possuem as dimensões de 100X150 mm. Esses equipamentos são usados em testes preliminares de laboratório, cujos resultados são apenas qualitativos.

As investigações tornam-se mais confiáveis quando se utilizam equipamentos maiores, isto é, aqueles empregados em operações piloto, por meio dos quais são determinados parâmetros necessários ao dimensionamento de equipamentos industriais, bem como a elaboração de fluxogramas de concentração.

4. PROCEDIMENTO OPERACIONAL

O desafio das investigações fundamenta-se na identificação dos fluxogramas de concentração aplicáveis ao processamento do minério, bem como no estudo de suas variações. Portanto, uma campanha de testes de jigagem, muitas vezes em escala contínua, torna-se indispensável para prover, de forma confiável, entre outras, as informações:

- (i) distribuição granulométrica do minério adequada ao processo;
- (ii) vazão de alimentação (kg/h);
- (iii) velocidade de pulsação (pulsações/min);
- (iv) tempo de residência do minério (min);
- (v) balanços de água, massa e metalúrgico.

O sucesso das investigações depende da habilidade e experiência do operador, bem como da infra-estrutura básica para realização dos testes. Logo, antes de iniciar a operação de jigagem, o operador deve conferir se todos os equipamentos e materiais relacionados no Quadro 1, estão disponíveis para uso durante os procedimentos experimentais. Além disso, deve verificar se todos estão em perfeito funcionamento, bem como disponíveis à execução dos testes.

Quadro 1 – Procedimentos, materiais e equipamentos utilizados nos testes de jigagem.

Itens	Discriminação
1	Providenciar a limpeza completa de todos os equipamentos a serem usados na realização dos experimentos.
2	Verificar se o alimentador vibratório e o jigue estão funcionando, isto é, todas as suas partes, inclusive a lubrificação dos mesmos.
3	Conferir se há disponibilidade de água com qualidade e sem turbidez ao longo da execução dos experimentos.
4	O minério, ou toda a amostra, deve estar lavado, isto é, sem lama e na granulometria adequada para o teste.
5	A quantidade de bolas deve ser suficiente para formação do leito, inclusive em várias granulometrias, além de atender as necessidades de todos os experimentos.
6	Averiguar se há disponibilidade de diferentes tipos de telas em bom estado de conservação e se as mesmas encaixam no compartimento do jigue, além da massa para calafetá-la.
7	Examinar o funcionamento de todas as válvulas e se as tubulações de entradas e saídas dos fluxos estão livres, isto é, sem entupimento.
8	Em cada tubulação de água que alimenta o jigue deve haver um rotâmetro para medida da vazão (L/h) de água.

Alimentação

A alimentação do jigue deve ser feita de maneira que a polpa seja distribuída igualmente em toda a seção da célula onde ocorre a alimentação. A velocidade de alimentação não deve ser elevada e depende do equipamento e do tipo de minério tratado. A sua otimização, posta em ação pelo operador, faz parte das investigações conferidas ao engenheiro responsável pela pesquisa. O primeiro ensaio tem por finalidade o ajuste do circuito e a

formação do leito do jigue, etapas consideradas preparatórias aos ensaios subseqüentes.

Amostragem

Como se faz a amostragem em jigue, visando balanço de massa e metalúrgico?

Os produtos dos testes são secados, pesados e quarteados para tomada de alíquotas destinadas às análises mineralógica, química, balanços de água, massa e metalúrgico, dentre outros. O leito do jigue deve ser inspecionado, para avaliar se há alguma irregularidade na formação do mesmo. A amostragem não deve remover grande parte da alimentação. Testes adicionais podem ser realizados, usando uma alimentação recomposta com base nos produtos da jigagem: concentrado, misto e rejeito, principalmente, quando se trata de amostras pequenas, cujos estudos são apenas qualitativos (Mills, 1980).

5. VARIÁVEIS OPERACIONAIS

Otimizar a operação de jigagem é uma tarefa devotada ao operador e ao pesquisador responsável pela pesquisa. Ao pesquisador cabe, ainda, a responsabilidade de conhecer, com profundidade, os fundamentos teóricos e as técnicas que o assunto exige. Na prática, trata-se de uma arte e, como todas, requer dedicação e perseverança; por essas e outras razões é recomendada uma revisão da literatura (Aubrey, 1986; Burt, 1984; Sampaio e Tavares, 2005; Kelly, 1982).

Diluição da Polpa

A quantidade de água (L/h) adicionada ao processo varia, principalmente, com o tipo de minério e dos minerais de ganga. A quantificação dessa variável inicia-se com a realização de testes unitários. As informações abaixo servem como guia ao operador.

Se há excesso de concentrado removido da célula e o mesmo contém demasiada quantidade de minerais de ganga, é provável que a vazão de água (L/h) seja insuficiente. Assim, deve-se proceder ao aumento gradativo dessa vazão.

Se há pouca quantidade de concentrado removido da célula, provavelmente há excesso de água, que força parcialmente as partículas pesadas a saírem com as leves no rejeito; portanto, aconselha-se reduzir a vazão de água (L/h). A quantidade de concentrado removido, ou de pesados, depende do conteúdo ou teor do mesmo na alimentação.

Se há redução repentina da vazão do concentrado (kg/h) e, ao diminuir a vazão de água (L/h), não se reverte a situação, é possível que a tela ou o leito do jigie estejam obstruídos. Neste caso, cabe ao operador desviar a alimentação, remover o leito do jigie e limpar a tela, além de retomar a operação normal.

Se isso ocorre com frequência, aconselha-se ao operador aumentar a vazão de água (L/h) vagarosamente.

Se há, no minério, partículas que obstruem facilmente a tela em uso, torna-se oportuna a substituição da mesma.

No caso de minério de ouro grosso, ou outro mineral pesado (scheelita, cassiterita, etc.), o leito do jigie deve ser bem lavado para não acumular mineral que se deseja concentrar no leito.

Tela do Jigue

A tela do jigie é projetada para ajustar-se ao compartimento que lhe é apropriado (Figura 1) e deve ser removível para as eventuais trocas durante as investigações. A sua vedação junto às paredes da célula do jigie deve ser feita com massa de calafeto, a qual pode ser usada mesmo com o jigie em operação.

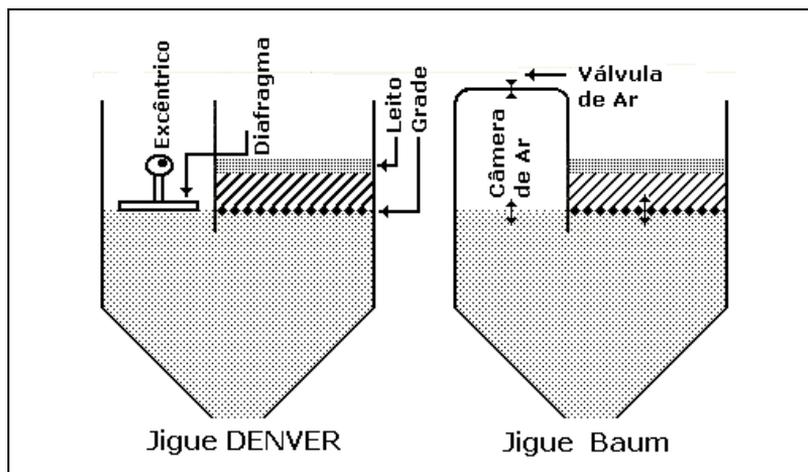


Figura 1 – Desenho esquemático dos jigues DENVER e BAUM com detalhes do leito e da tela ou grade.

A função da tela é evitar a passagem das bolas que compõem o leito para a célula do jig. A sua abertura varia com o diâmetro das bolas que forma esse leito e, também, com o tamanho das partículas que compõem o minério tratado. Como referência, a **abertura da tela pode variar de duas a três vezes o tamanho máximo das partículas do minério.**

Vários materiais são empregados na composição do leito, tais como: martita, magnetita, galena, alumínio, esfalerita, chumbo, bronze, entretanto são mais utilizadas bolas de aço.

A distribuição granulométrica do leito depende do tamanho das partículas a serem recuperadas. Este tamanho é próximo ao diâmetro dos interstícios entre as bolas que compõem o leito. A espessura do leito varia com a granulometria do minério, com a pureza do concentrado e deve ser otimizada na prática. Uma vez conhecida, recomenda-se mantê-la até o final das investigações.

Em alguns casos, o material do leito desloca-se para o centro do compartimento, deixando a tela com um leito fino na extremidade de entrada. Isso pode ocorrer em decorrência da existência de minerais pesados na carga circulante. Para evitar esse contratempo, aconselha-se a instalação de taliscas

de madeira no leito, transversalmente ao fluxo, cuja altura deve ser igual ou menor ao do leito do jigues.

Velocidade

A operação dos jigues com velocidade de pulsação varia entre 200 e 325 pulsações por minuto (p/min), no entanto a velocidade de 300 p/min é a mais utilizada na prática. Recomenda-se a operação com velocidade elevada para minérios com granulometria fina, enquanto para aqueles com granulometria grossa são indicadas operações com velocidades baixas. A variação repetitiva da velocidade não traz nenhuma vantagem significativa ao processo.

Amplitude da Pulsação

A pulsação, de algum modo, varia com a velocidade e tamanho das partículas do minério. Com velocidade mais elevada, no caso dos minérios finos, utiliza-se pulsação mais curta. Com baixa velocidade, no caso de minério grosso, opera-se o jigues com pulsação mais longa. A amplitude exata da pulsação somente pode ser otimizada por meio de testes. Os valores usuais dessa variável situam-se entre 6 e 12 mm.

Para facilitar a formação do leito do jigues, é usual iniciar a operação com uma pulsação mais curta e com vazão de água mais elevada, em comparação àquela que irá operar no estado de equilíbrio do processo. Após algum tempo de operação, o pulso deverá ser ampliado e a água reduzida vagarosamente. Esse ajuste demanda pouco tempo para os operadores experientes. Sempre há necessidade de paradas para remoção do leito e da tela para o ritual de limpeza, inclusive da célula do jigues. Ao retomar os trabalhos, o operador deve, novamente, fazer todos os ajustes necessários.

6. COMENTÁRIOS

Os jigues possuem baixo custo operacional, mais requerem considerável habilidade do operador, se a diferença de densidade dos minerais a serem separados não for tão significativa. Além disso, os jigues são de fácil acesso para inspeção. Esses equipamentos, como a maioria em tratamento de minérios, possuem limitações na concentração de minérios com granulometrias finas, isto é, eles não conferem uma solução para o

aproveitamento global dos minérios. Os jigues possuem um consumo de água muito elevado, todavia o reúso da água, nesse processo, é levado a efeito com facilidade.

Os jigues são pouco empregados na concentração de minérios sulfetados, em que a flotação atua com maior eficiência, essencialmente, nas faixas granulométricas finas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aplan, F. F. The Gravity concentration. In: Fuerstenau, M. C. E Han, K. N. (Ed.). Principles of Mineral Processing. SME, 2003, p.185-219.
- Aubrey Jr, W. M. e Stone, R. L. Laboratory testing for gravity concentration circuit design. In: Mular, A. e Bhappu e Anderson, M. A. (Ed.). Design and installation of concentration and dewatering circuits. SME, 1986, p.433-453.
- Burt, R. O. Gravity concentration technology. Amsterdam: Elsevier, 1984, p.184-220.
- Kelly, E. G. e Spottiswood, D. J. Introduction to mineral processing. New York: John Wiley & Sons, 1982, p.250-273.
- Lins, F. A. F. Concentração gravítica. In: Luz, A. B., Sampaio, J. A. e Almeida, S. L. M. (Ed.). Tratamento de Minérios. 4ª ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004, p.241-270.
- Mills, C. Process design, scale up, and plant design for gravity concentration. In: Mular, A. e Bhappu, R. B. (Ed.). Mineral processing plant design. AIME, 1980, p.404-436.
- Sampaio, C. H. e Tavares, L. M. M. Beneficiamento gravimétrico. Porto Alegre, UFRGS Editora, 2005, p.271-338.