

COMPARAÇÃO ENTRE ENSAIOS DE FLOTAÇÃO ABERTO, LCT E MINI PILOTO PARA O MINÉRIO DE ESFALERITA E GALENA DE BONSUCESSO *

Carolina Carvalho Nunes¹

Lucas Monteiro Corrêa e Lopes²

Nathalia Luiza Nascimento de Carvalho²

Resumo

As características próprias de cada minério inviabilizam prever a qualidade de um concentrado de flotação sem a execução de ensaios exploratórios. Grande parte das pesquisas inicia-se com testes abertos em escala de laboratório e então, após avanços na determinação de condições de processo, a complexidade dos testes aumenta a fim de avaliar novos parâmetros. Os testes de flotação de bancada em circuito fechado (locked cycle test - LCT) simulam os circuitos com recirculação de cargas e a maior dificuldade desse teste está em estabilizar o circuito e atingir o equilíbrio. A depender da disponibilidade de massa, os tipos de testes que oferecem maior confiabilidade e mais informações sobre a flotação em um processo contínuo são os testes em escala mini piloto ou escala piloto. Esse trabalho objetivou comparar os resultados dos testes de flotação em três escalas (teste aberto em bancada, LCT e mini piloto) para o minério de Bonsucesso, um novo depósito, de propriedade da Nexa Resources, que tem como minérios de interesse a esfalerita, minério de zinco, e a galena, minério de chumbo. Para o circuito de flotação aberto de galena foi obtido teor de 27,57% com 26,70% de recuperação, no teste LCT o teor foi de 31,54% com 64,64% de recuperação e na mini piloto atingiu 51,22% de teor com 65,51% de recuperação. Na flotação aberta de esfalerita o teor de zinco foi de 55,51% com 77,35% de recuperação, no teste LCT o teor de zinco foi de 56,71% com 84,42% de recuperação e na mini piloto de 50,02% de teor com 94,54% de recuperação.

Palavras-chave: Flotação, Batch, LCT, Mini piloto, Bonsucesso.

COMPARISON BETWEEN BATCH TESTS, LCT AND MINI PILOT OF BONSUCESSO GALENA AND ESPHALERITE ORE

Abstract

The characteristics of each ore make it impossible to predict the quality of a flotation concentrate without exploratory tests. The research begins with laboratory batch tests, and then, after advances in the determination of process conditions, the complexity of the tests increases in order to evaluate new parameters. The closed cycle test (LCT) simulate circuits with load recirculation and the greatest difficulty of this test is to stabilize the circuit and achieve equilibrium. Depending on mass availability, the types of tests that offer the highest reliability and informations about flotation in an ongoing process are mini-scale or pilot-scale tests. This work aimed to compare the results of the flotation tests in three scales (batch test, LCT and mini pilot) for the Bonsucesso ore, a new deposit, owned by Nexa Resources, that has sphalerite, zinc ore, and galena, lead ore. In the open flotation circuit of galena was obtained 27.57% content with 26.70% recovery, in the LCT test the content was 31.54% with 64.64% recovery and in the mini pilot reached 51.22 % content with 65.51% recovery. In the open sphalerite flotation the zinc content was 55.51% with 77.35% recovery, in the LCT test the zinc content was 56.71% with 84.42% of recovery and in the mini pilot of 50.02% content with 94.54% recovery.

Keywords: Flotation, Batch, LCT, Mini pilot, Bonsucesso.

¹ Engenheira de processos, Gerência Engenharia de Projetos - Bonsucesso, Nexa Resources, Paracatu, Minas Gerais, Brasil.

² Engenheiro(a) de processos, Gerência de Tecnologia, Nexa Resources, Paracatu, MG, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de rotas de flotação inicia-se com o estudo de caracterização mineralógica que subsidia os testes em escala de bancada. Os estudos em escala de bancada permitem obter parâmetros elementares para o processo. (Andrade et al., 2001).

Após obter dados satisfatórios com os testes abertos em bancada é importante entender a influência que as cargas circulantes podem ter no processo de flotação. O método mais simples e prático nessa etapa é a realização de testes em bancada do tipo locked cycle test (LTC). Nesse teste os produtos intermediários são recirculados para etapas que antes recebiam apenas alimentação nova. O local da recirculação pode ser determinado pelo teor das amostras ou pela granulometria. Esse teste é limitado pelo número de ciclos, onde, eventualmente, o sistema pode demorar demasiadamente para estabilizar, ou seja, requerer um número muito grande de recirculações para se atingir o equilíbrio de massas e metalúrgico.

A próxima etapa de testes que mais se aproxima das condições de uma planta industrial são os testes em escala mini piloto ou piloto pois eles permitem o estudo do circuito quando submetido às cargas circulantes e à um processo contínuo. Como salientou Andrade et al (2001) testes em escala piloto consomem grande quantidade de minério, entre 100 e 1000 kg/h por teste, o que, numa fase de estudo de viabilidade de projeto, requer a perfuração de galerias subterrâneas exclusivamente para retirada de amostras, tornando o investimento em pesquisa ainda mais elevado. Tendo em vista as limitações que projetos de desenvolvimento possam ter com relação à massa necessária para testes, os ensaios em escala mini piloto mostram-se mais viáveis pois a vazão de alimentação é de aproximadamente 10kg/h. A possibilidade de realização de testes contínuos utilizando menos massa viabiliza testes com amostras provenientes de furos de sonda, realizados em etapa de pesquisa mineral, como foi o caso do minério de Bonsucesso.

O Projeto Bonsucesso é um projeto browfield da unidade de Morro Agudo, propriedade da Nexa Resources, localizado a aproximadamente 60km de distância da unidade e prevê a abertura de uma mina subterrânea para extração de minérios sulfetados de zinco e chumbo. Bonsucesso será tratado na planta de beneficiamento de Morro Agudo, contribuindo assim para a extensão do “Life of Mine” (LOM) desta unidade. Na mina de Morro Agudo são extraídos zinco sulfetado, sendo o mineral de minério a esfalerita, e sulfeto de chumbo, composto basicamente por galena. O circuito de processamento mineral de Morro Agudo é composto pelas etapas de britagem, moagem, classificação, flotação e filtração.

O presente trabalho apresenta os resultados dos ensaios de flotação do minério de Bonsucesso utilizando-se o esquema de reagentes que obteve o melhor resultado para as flotações de chumbo e zinco na escala de bancada. Como o minério de Bonsucesso irá alimentar uma planta existente, o fluxograma inicial de flotação foi pré-determinado pela estrutura atual de Morro Agudo. Obtido o melhor esquema de reagentes, os testes abertos iniciais foram replicados para testes do tipo LCT e em seguida para escala mini piloto. O objetivo dos testes foi obter informações para suportar a premissa do projeto de utilizar a estrutura existente de Morro Agudo para se obter concentrados de chumbo e zinco com qualidades similares ao padrão atual no qual se obtém em média 42% de teor de zinco com 91,6% de recuperação e 50% de teor de chumbo com 80% de recuperação.

2 DESENVOLVIMENTO

As amostras de Bonsucesso foram selecionadas a partir do banco de dados dos furos de sondagem realizados pela equipe de exploração mineral e foram selecionadas com o objetivo de se obter representatividade de todo o depósito mineral.

A Figura 1 mostra as etapas de preparação das amostras.

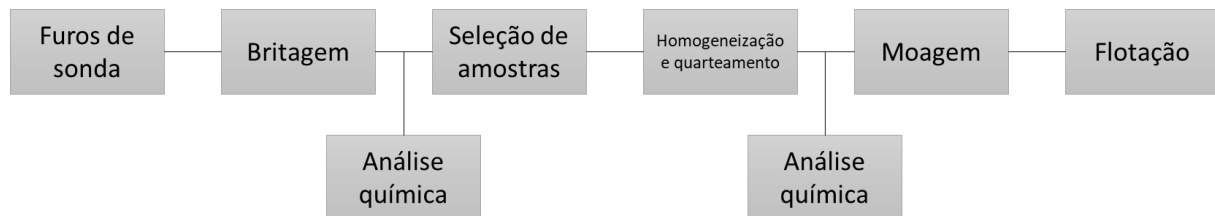


Figura 1. Sequência de preparação das amostras.

A moagem do minério foi realizada em um Moinho de 12 "x 18 ", em lotes de 10 quilos de minério seco, para 66,67% de sólidos sem adição de reagentes e com uma velocidade de 61 rpm; aplicando um tempo de 38,86 minutos, para obter um grau de moagem de 78,86% -200 (P80 = 75 um). A alimentação da flotação foi realizada com 35% de sólidos em peso.

Os reagentes selecionados e as dosagens usadas nos testes abertos para a flotação são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Reagentes usados nos testes

Reagente	Função	Dosagem
CAL	Modulador de pH	RG Zn Ph:9,5, CLN pH: 10,5
AF70 (álcool)	Espumante	RG Pb 10g/t, CLN Pb 2,5g/t, RG Zn 20g/t
Sulfato de Zinco (ZnSO ₄)	Depressor de Zn	CLN Pb 50g/t
Sulfato de Cobre (CuSO ₄)	Ativador de Zn	RG Pb 200g/t
A-3477 (ditiofosfato)	Coletor de sulfetos	RG Zn 35g/t, CLN Zn 5g/t
A-3418 (ditiofosfato)	Coletor de sulfetos	RG Pb 10g/t, SCV Pb 5g/t, CLN Pb 5g/t
DETA (dietiltriamina)	Depressor de ferro	CLN Pb 20g/t, RG Zn 25g/t
CAL	Modulador de pH	RG Zn Ph:9,5, CLN pH: 10,5
AF70 (álcool)	Espumante	RG Pb 10g/t, CLN Pb 2,5g/t, RG Zn 20g/t

A Figura 2 mostra o fluxograma usado no teste aberto e a Figura 3 mostra o fluxograma simplificado do teste LCT e mini piloto.

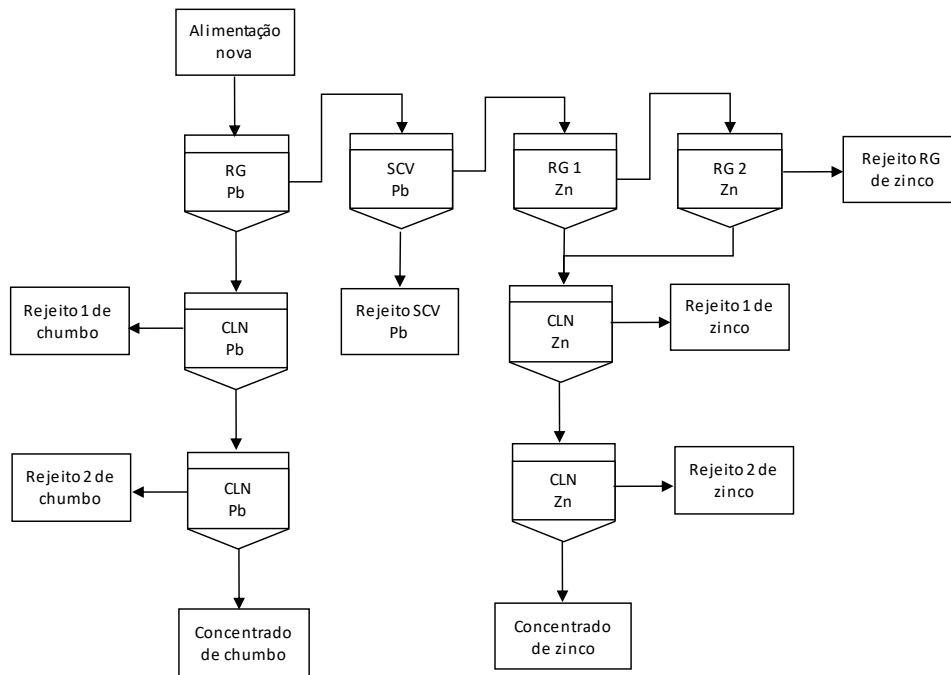


Figura 2. Fluxograma simplificado do teste aberto.

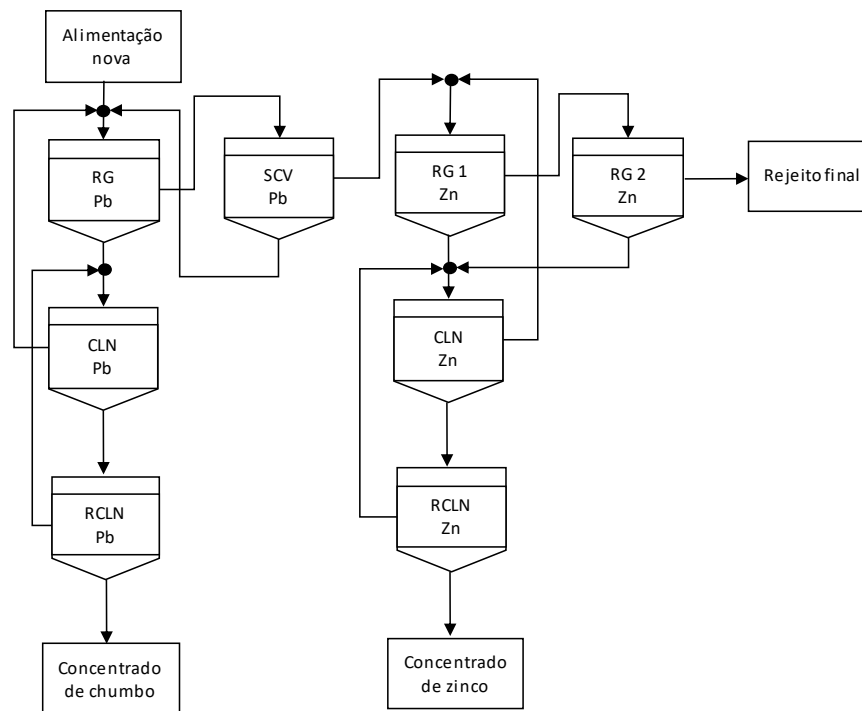


Figura 3. Fluxograma simplificado do teste LCT e mini piloto.

O teste aberto em bancada contempla as etapas Rougher, Scavenger do Rougher, Cleaner e Recleaner de chumbo, sendo que o rejeito da Scavenger de chumbo alimenta a etapa Rougher 1 de zinco, que é seguida pelas etapas Rougher 2 de zinco, Cleaner e Recleaner.

No teste LCT as etapas do teste aberto se repetem, porém no circuito de chumbo o rejeito Cleaner recircula para a alimentação Rougher, assim como o rejeito Scavenger e o rejeito Recleaner recirculam para a alimentação Cleaner. No circuito

de zinco o rejeito Cleaner recircula para a alimentação Rougher e o rejeito Recleaner retorna para a alimentação da Cleaner. Os testes LCT ocorreram com um total de seis ciclos.

Os testes da planta mini piloto foram escalonados com base nos resultados dos testes em nível laboratorial, aplicando o fator de escala 1,5, levando em consideração o esquema de reagentes, tempos de flotação, condições de operação, etc. O ensaio mini piloto teve uma duração total de 12 horas e foram realizadas amostragens nos concentrados e rejeito para verificar se o sistema se encontrava em equilíbrio.

O teste em bancada foi realizado usando-se células Denver. O teste em escala mini piloto foi realizado usando-se duas Continuous Flotation Machine (CFM) da Eriez, modelo CFM-12-PLC-PH-Lime.

2.1 Resultados dos testes de flotação

A Tabela 2 mostra o resultado na análise química da alimentação dos testes de flotação.

Tabela 2. Reagentes usados nos testes

	Pb (%)	Zn (%)	Fe (%)
Alimentação da flotação	0,45	2,88	4,06

A Tabela 3 mostra os resultados dos testes de flotação do circuito de chumbo.

Tabela 3. Reagentes usados nos testes

Teste	Massa (%)	Teor (%)			Recuperação (%)		
		Pb	Zn	Fe	Pb	Zn	Fe
Teste aberto	0,43	27,57	12,26	10,49	26,70	1,85	1,08
LCT	0,91	31,54	12,40	7,94	64,64	3,88	1,76
Mini piloto	0,49	51,22	7,59	3,40	65,51	1,20	0,40

No teste aberto o chumbo atingiu 27,6% de teor e 26,7% de recuperação. Com seis ciclos, no teste LCT, o teor subiu para 31,54% e a recuperação para 64,64%. No teste em escala mini piloto o concentrado de chumbo atingiu teor e recuperação de 51,22% e 65,51% respectivamente.

Para o circuito de chumbo, fica evidente o efeito da carga circulante. A junção do concentrado scavenger e da alimentação nova aumentou o teor da alimentação da etapa rougher, e por consequência, houve enriquecimento das espumas do concentrado. Adicionalmente, o efeito da carga circulante do rejeito Recleaner de chumbo contribuiu para o enriquecimento do concentrado de chumbo.

A diferença de teores dos concentrados dos testes LCT e mini piloto sugere que o LCT não foi realizado com número de ciclos suficiente para aumento do teor na carga circulante e obtenção do grau de enriquecimento necessário, que nesse caso é bastante alto visto o baixo teor de chumbo na alimentação nova.

A Tabela 4 mostra os resultados das análises químicas dos concentrados finais de zinco obtidos.

Tabela 4. Reagentes usados nos testes

Teste	Massa (%)	Teor (%)			Recuperação (%)		
		Pb	Zn	Fe	Pb	Zn	Fe
Teste aberto	4,00	0,25	55,51	4,27	2,28	77,35	4,08
LCT	4,35	0,29	56,71	2,54	2,84	84,42	2,69

Mini piloto	5,82	1,00	50,02	2,92	15,37	94,54	4,11
-------------	------	------	-------	------	-------	-------	------

O teor de zinco subiu do teste aberto, para o LCT, de 55,51% para 56,71%, porém na mini piloto caiu para 50,02%. O aumento considerável da recuperação na mini piloto é a provável causa da penalização do teor de zinco.

O efeito da carga circulante do rejeito da Cleaner juntamente com o rejeito Scavenger de chumbo aumentou o teor de zinco da alimentação da etapa Rougher. O efeito da carga circulante foi expressivo e elevou as recuperações de 77,4% do teste aberto para 84,42% no LCT e para 94,54% na mini piloto.

No teste LCT o ensaio só termina quando se tem um processo em equilíbrio, ou seja, quando os resultados nos últimos ciclos são constantes (Loyola, 2016). No teste LCT realizado o sistema estabilizou, mas o circuito de flotação de chumbo não atingiu o equilíbrio com o número de ciclos proposto (seis ciclos), ou seja, a carga circulante ainda não estava estabilizada.

A Figura 4 mostra os desvios do teste LCT entre a alimentação e os concentrados para a massa e para os metais analisados.

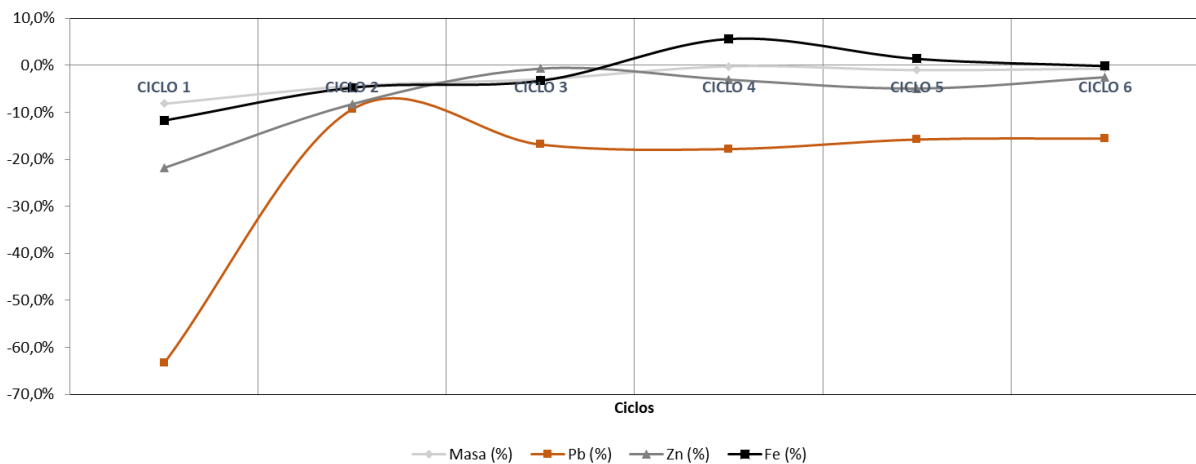


Figura 4. Análise de estabilidade do LCT (entradas e saídas).

A Tabela 5 mostra os resultados das análises químicas dos rejeitos finais da flotação de zinco.

Tabela 5. Reagentes usados nos testes

Teste	Massa (%)	Teor (%)			Recuperação (%)		
		Pb	Zn	Fe	Pb	Zn	Fe
Teste aberto	87,62	0,05	0,08	3,40	10,01	2,29	71,00
LCT	92,07	0,06	0,11	4,05	11,75	3,56	90,73
Mini piloto	93,69	0,08	0,14	4,21	19,12	4,26	95,49

Pode-se observar que há uma maior perda de zinco para o rejeito final nos testes em escala mini piloto. Essa perda não afetou a recuperação de zinco quando comparado aos testes de bancada. Observa-se também que o teor e recuperação de ferro são maiores no rejeito da mini piloto, o que melhora a recuperação no concentrado.

3 CONCLUSÃO

O ensaio aberto em bancada com o minério de Bonsucesso cumpriu o objetivo de fornecer informações preliminares sobre o potencial dos concentrados a partir de um ensaio simples e que necessita de baixa massa de alimentação. O teor de chumbo obtido no teste aberto foi de 27,57% com 26,70% de recuperação e o teor de zinco foi de 55,51% com 77,35% de recuperação.

No ensaio CLT foi possível estabilizar o circuito com 6 ciclos, apesar do equilíbrio não ter sido atingido, e obter mais informações sobre os efeitos das cargas circulantes nos fluxos intermediários. O teor de chumbo obtido foi de 31,54% com 64,64% de recuperação e o teor de zinco foi de 56,71% com 84,42% de recuperação. O aumento do teor de alimentação das etapas Rougher e Cleaner com as cargas circulantes contribuiu para o aumento do grau de enriquecimento dos concentrados.

O teste em escala mini piloto oferece mais informações sobre o desempenho do minério de Bonsucesso uma vez que fornece a influência tanto da carga circulante quanto da operação em um circuito contínuo, porém são necessários mais recursos em termos financeiros e de disponibilidade de massa. Na mini piloto o concentrado de chumbo atingiu 51,22% de teor com 65,51% de recuperação e o concentrado de zinco 50,02% de teor com 94,54% de recuperação. Como sugere Andrade et al.(2001) o LCT possibilita uma boa previsão da recuperação global do circuito. O mérito maior dos testes LCT e mini piloto está em comprovar a viabilidade do processo em base contínua, o que é particularmente importante para os investidores.

REFERÊNCIAS

- 1 Andrade VL, Santos, NA, Gonçalves, KL. Como obter dados contínuos de flotação com amostras de furos de sonda: uma mini planta piloto de flotação. In: Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia extrativa, organização. Proceedings do XVIII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios; 200; Rio de Janeiro, Brasil. p. 157–162.
- 2 Loyola L. Avaliação do Desempenho da Mini Planta-Piloto de Flotação da CVRD: Estudo Comparativo com Plantas Industriais. [Dissertação de mestrado]. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte; 2006.