

DEFINIÇÃO LABORATORIAL DE PARÂMETROS PARA IMPLEMENTAÇÃO DE CONCENTRAÇÃO DE BARITA POR FLOTAÇÃO

Rísia Magriotis Papini

Prof. Departamento Engenharia de Minas – UFMG
Rua Espírito Santo 35/sl 723 – Centro, 30160-030 - Belo Horizonte, MG – Brasil
risia@demin.ufmg.br

Armando Corrêa Araujo

Prof. Departamento Engenharia de Minas – UFMG
Rua Espírito Santo 35/sl 711B – Centro, 30160-030 - Belo Horizonte, MG - Brasil
armando@demin.ufmg.br

Aline Pereira Leite

Mestranda em Engenharia de Minas da UFMG

Renata Corrêa da Silva

Graduanda em Engenharia de Minas da UFMG

RESUMO

Neste trabalho, estudos de cinética de moagem e de flotação, e testes de flotação em bancada, foram realizados buscando-se definir alguns parâmetros técnicos para a implementação de um circuito de concentração de barita na Mineração Santa Rosa. Nos testes cinéticos de moagem, observou-se que o tempo ideal de moagem para se atingir a granulometria desejada (95% em 150 μm) foi de 30 minutos. Já nos testes de cinética de flotação, assumindo um modelo cinético de 1ª ordem, obtiveram-se constantes cinéticas com valores entre 0,85 e 0,97 min^{-1} , similar a valores encontrados para barita na literatura, indicando que a barita branca possui uma cinética de flotação rápida. Em relação aos testes de flotação com diferentes coletores (sulfosuccinato, cetil estearil sulfato de sódio e óleo de soja) tem-se que os testes 5, 8, 9 e 11 forneceram os melhores resultados em termos de recuperação e teor de BaSO_4 (em torno de 90% para ambos) e de teor de sílica (em torno de 7%). Observa-se que para cada um desses testes foi utilizada uma combinação diferente dos reagentes ou somente um deles, em dosagens diferentes. O teste escolhido como padrão para testar o circuito industrial foi o teste 8, onde se levou em conta na escolha, não só a recuperação de BaSO_4 (92,23%) e os teores de BaSO_4 (93,04%) e sílica (6,30%), mas também o menor custo dos reagentes (cetil estearil sulfato de sódio e óleo de soja). Os parâmetros do estudo foram testados no circuito industrial, considerando 40% de sólidos com tempo de residência de 6 minutos buscando atingir 92% de recuperação, a capacidade do circuito existente foi de 710 kg/h.

PALAVRAS-CHAVES: barita, concentração, flotação.

ABSTRACT

Grinding and flotation kinetics studies were performed in combination with standard bench scale flotation tests in order to determine technical parameter for the implementation of a barite concentration circuit for Mineração Santa Rosa. Grinding kinetics indicated that in order to reach the desired size distribution (95% passing in 150 μm) 30 minutes of batch grinding were required. Flotation kinetics, with the assumption of a first order model, led to kinetic rate constant in the range between 0.85 to 0.97 min^{-1} with a consistent with published values for barite flotation. The white barite sample tested should hence be considered as fast floating. In relation to standard bench flotation tests with several collectors (sulfosuccinate, cetyl-stearyl sulfate and soybean oil), the ones numbered as 5, 8, 9 and 11 gave the best results in terms of barium sulfate grade and recovery (circa 90% in both cases) and in terms of the remaining silica grade (circa 7%). Each of these tests involved a unique combination of collectors or a single collector in diverse dosages. The test selected as a standard to test the industrial circuit was test number 8 taking into consideration not only barium sulfate grade (92.23%) and recovery (93.04%) and silica grade (6.30%) but also the lowest cost of the collector blend (cetyl-stearyl sulfate and soybean oil). The parameters of this study were tested for an existing industrial circuit. Considering a residence time of 6 minutes and aiming at reaching 92% barium sulfate recovery the circuit capacity was estimated at 710 kg/h.

KEY-WORDS: barite, concentration, flotation.

1. INTRODUÇÃO^(1,2)

A barita é um sulfato de bário ($BaSO_4$) composto de 65,7% de BaO e 34,3% de SO_3 . A barita constitui-se no mais importante mineral de bário em termos de reservas, produção, utilização e obtenção do elemento bário. É o único mineral, atualmente, do qual se obtém o bário comercialmente. A barita e seus derivados possuem diversas utilizações tais como: perfuração de poços de petróleo, vidros, tintas, borrachas, cerâmicas, plásticos dentre outros.

No Brasil, o beneficiamento empregado para produção de concentrados de barita é bastante simples e consiste de britagem, lavagem em classificador espiral e moagem. O processo de flotação está sendo introduzido visando um melhor aproveitamento do minério. O quartzo apresenta-se como principal mineral de ganga. A seletividade barita/quartzo é conseguida com facilidade usando-se ácidos carboxílicos ou seus sais, sulfato de sódio ou sulfonatos. Esses coletores adsorvem-se seletivamente na superfície da barita, formando sais de bário e conferindo-lhe a hidrofobicidade necessária a flotação.

As principais ocorrências econômicas estão localizadas no Estado da Bahia, responsável por 96% da produção nacional e 85% da oferta de produtos beneficiados no ano de 2003, o que representa apenas 1% da produção mundial. As baritas estudadas são provenientes da baía de Camamu na Bahia. As características geológicas intrínsecas da região permitiram processos de mineralização, de reconhecido valor econômico.

2. METODOLOGIA^(3,4)

A amostra trabalhada é proveniente da Empresa de Mineração Santa Rosa, coletada no pátio de matéria-prima em Pequeri/MG. Na figura 2.1 seguir é apresentado o fluxograma da preparação dessa amostra para os testes de flotação.

Nos testes de flotação, primeiramente foram feitos alguns testes exploratórios, para verificar os tempos de flotação. Em seguida os testes foram realizados para a determinação da constante cinética da barita utilizando mistura de coletores; depois se realizaram ensaios com apenas um coletor e ensaios com misturas de 2 ou 3 coletores em diferentes concentrações. Após os ensaios os produtos foram encaminhados para análise química por fluorescência de raios X.

Na tabela 2.1 está descrita a ordem de colocação dos reagentes, para a barita branca, assim como suas concentrações nos ensaios de flotação. A concentração mássica de sólidos nos testes foi de aproximadamente 40%. O tempo de condicionamento dos reagentes nos ensaios foi de 5 minutos e a rotação da célula foi de 1500 rpm.

2.1 Reagentes

- Sulfossucinato – KE-883, atualmente chamado de MC 711 (COGNIS), codificado como KE.
- Cetil estearil sulfato de sódio – LIOFLOT 30 (MIRACEMA-NUODEX), codificado como CES.
- Óleo de soja (LISA), codificado como OS.
- Flotanol D14 (CLARIANT), codificado como F-D14.

TABELA I. DESCRIÇÃO DOS TESTES DE FLOTAÇÃO DA BARITA BRANCA

Teste	pH	Coletores	Concentração (g/t)	Espumante	Dosagem (gotas)	Tempos (min) *
3	7,3	CES + OS + KE	100, 1000, 100	F- D14	2	0,5; 1; 2; 4
4	7,3	CES + OS + KE	100, 1000, 100	F- D14	2	0,5; 1; 2; 4; 8
5	7,2	CES	350	F- D14	2	-
6	7,1	OS	1000	F- D14	1	-
7	7,0	CES + OS	200, 1000	F- D14	1	0,5; 1; 2; 4
8	7,3	CES + OS	200, 500	F- D14	1	-
9	7,2	CES + OS + KE	100, 1000, 100	F- D14	2	-
10	7,3	CES + KE	200, 50	F- D14	2	-
11	7,5	CES + KE	200, 100	F- D14	2	-
12	7,5	CES + OS	250, 500	F- D14	2	-

*- tempo de flotação para os testes cinéticos

XXII ENTMME/VII MSHMT – Ouro Preto-MG, novembro 2007.

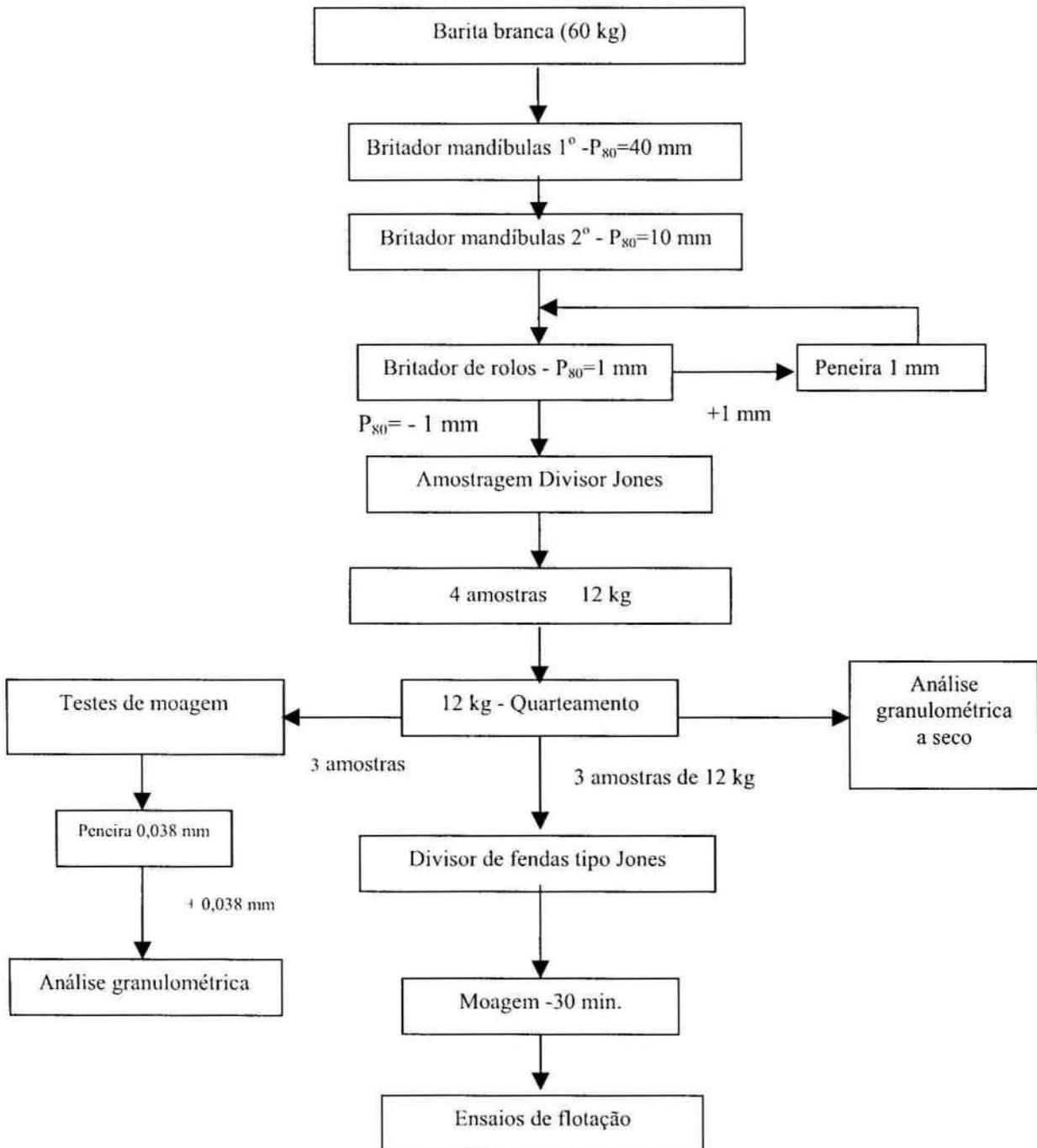


FIGURA 1. FLUXOGRAMA DE PREPARAÇÃO DA AMOSTRA PARA ENSAIOS DE FLOTAÇÃO.

3. RESULTADOS

3.1 Análise Granulométrica da Amostra Cabeça e dos Tempos de Moagem

Pela análise das curvas de cinética, optou-se em proceder à moagem com duração de 30 minutos, o que equivale a aproximadamente 90% passante em 150 μ m. Na moagem de 40 minutos houve uma geração de finos (material menor que 44 μ m), de mais de 10% em relação a moagem de 30 minutos, o que levou a descartar esse tempo.

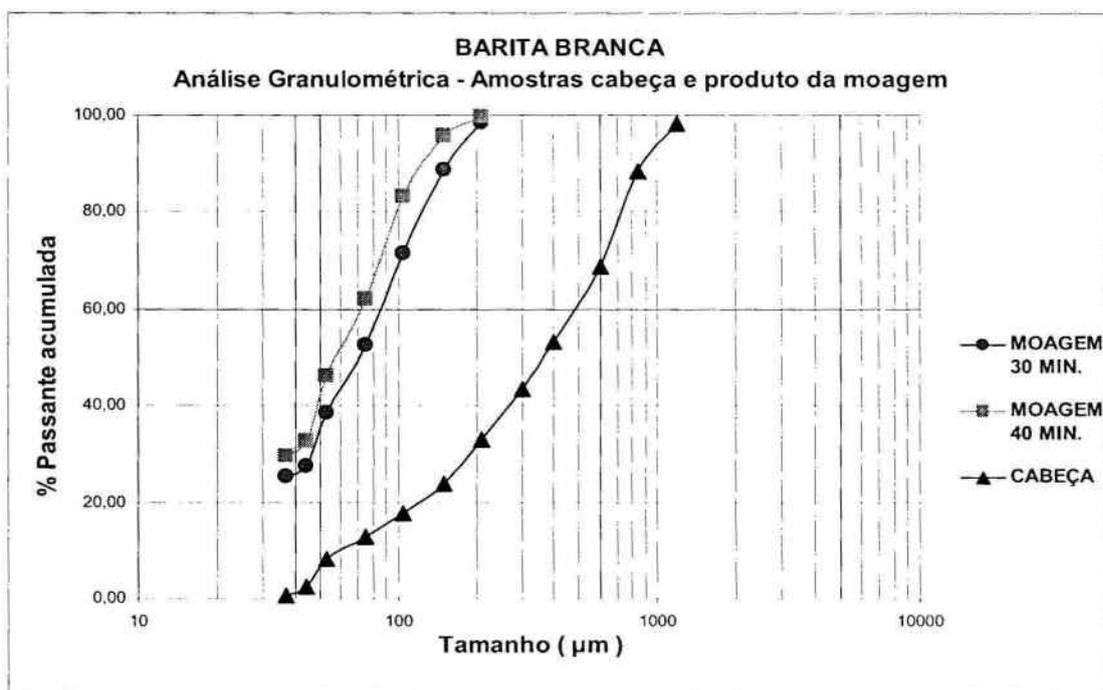


FIGURA 2. ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS DA AMOSTRA CABEÇA E DAS MOAGENS.

3.2 Resultados dos Testes de Flotação

3.2.1 Cinética de flotação

Os resultados dos testes 3, 4, e 7 da tabela II foram utilizados para observar a cinética de flotação da barita branca (figura 3). Nota-se que o formato das curvas dos testes é semelhante e indica que a barita branca possui uma cinética de flotação rápida, ou seja, ela flota quase que completamente no primeiro minuto de flotação. O cálculo das constantes cinéticas pela figura 3, assumindo modelos cinéticos de primeira ordem, leva a valores da ordem de 0,85 a 0,97 min^{-1} , compatíveis com resultados similares da literatura.

TABELA II. RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CINÉTICA DE FLOTAÇÃO

Teste	Fluxos	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%Fe ₂ O ₃	%BaSO ₄	Massa (%)	% Rcup. BaSO ₄
3	Alim.	16,59	0,44	0,20	71,41	100,00	100,00
	F1 (0,5min)	5,04	0,37	0,15	80,21	40,57	45,56
	F2 (1 min)	5,29	0,43	0,21	80,79	24,86	28,12
	F3 (2 min)	10,30	0,59	0,24	88,67	15,61	19,39
	F4 (4 min)	33,10	1,16	0,40	63,00	0,95	0,84
	AF	62,78	0,44	0,25	24,15	18,01	6,09
4	Alim.	19,48	0,54	0,21	67,80	100,00	100,00
	F1	6,79	0,34	0,17	64,17	35,56	33,66
	F2	9,55	0,58	0,20	90,42	26,59	35,45
	F3	13,10	0,56	0,23	86,62	12,42	15,86
	F4	55,20	2,07	0,79	39,37	0,32	0,19
	AF	50,67	0,85	0,28	40,07	25,12	14,84
7	Alim.	17,49	0,56	0,21	80,95	100,00	100,00
	F1	9,72	0,63	0,22	88,37	27,40	29,91
	F2	14,00	0,57	0,20	85,46	25,23	26,63
	F3	11,80	0,56	0,19	86,62	25,59	27,38
	F4	7,74	0,47	0,21	90,12	1,20	1,34
	AF	39,74	0,40	0,22	57,95	20,58	14,74

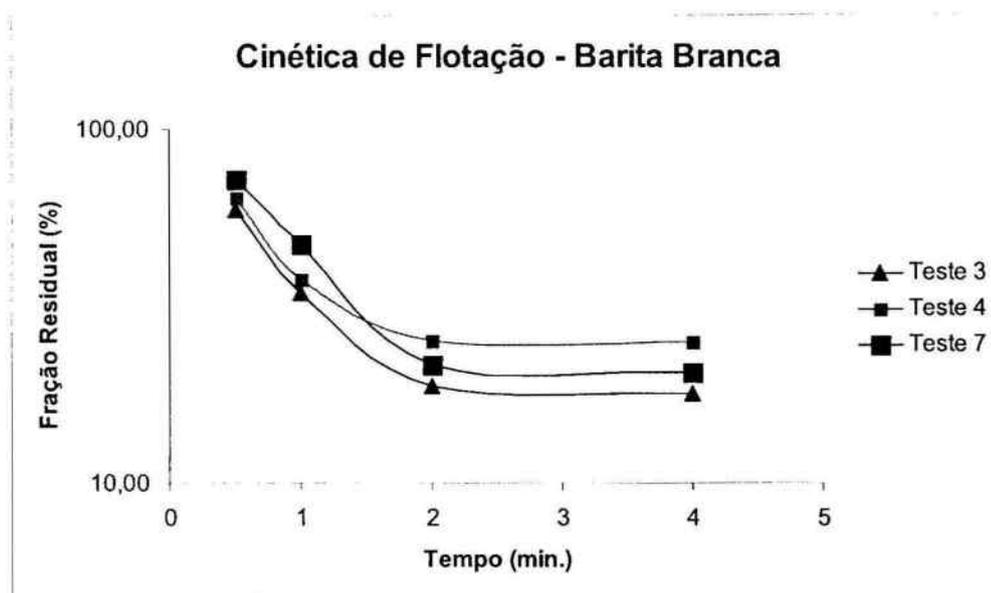


FIGURA 3. CURVAS PARA DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE CINÉTICA DA BARITA

3.2.2. Testes de flotação

Na tabela III mostram-se os resultados dos demais testes de flotação realizados para a barita branca.

TABELA III. RESULTADOS DOS ENSAIOS DE FLOTAÇÃO

Teste	Prod.	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%Fe ₂ O ₃	%PF	%BaSO ₄	Massa (%)	% Rcup. BaSO ₄
5	Alim.	15,78	0,40	0,22	0,54	82,45	100,00	100,00
	F1	7,71	0,38	0,19	0,40	92,17	86,14	96,29
	AF	66,00	0,57	0,40	1,38	22,08	13,86	3,71
6	Alim.	17,32	0,40	0,23	0,93	72,11	100,00	100,00
	F1	13,60	0,59	0,30	0,43	67,08	45,90	42,70
	AF	20,48	0,25	0,20	1,35	76,37	54,10	57,30
8	Alim.	14,87	0,45	0,20	1,23	84,08	100,00	100,00
	F1	6,30	0,41	0,18	1,19	93,04	83,34	92,23
	AF	57,76	0,62	0,29	1,34	39,11	16,64	7,77
9	Alim.	17,17	0,47	0,19	0,69	79,97	100,00	100,00
	F1	5,33	0,41	0,17	0,50	92,17	81,59	94,04
	AF	69,67	0,72	0,26	1,26	25,90	18,41	5,96
10	Alim.	17,16	0,51	0,19	0,85	80,89	100,00	100,00
	F1	8,57	0,49	0,18	0,79	89,83	79,45	88,24
	AF	39,20	0,60	0,25	0,84	46,29	20,55	11,76
11	Alim.	15,19	0,46	0,18	0,68	83,11	100,00	100,00
	F1	6,08	0,42	0,17	0,50	92,75	79,41	88,61
	AF	41,83	0,56	0,20	1,20	45,98	20,59	11,39
12	Alim.	15,80	0,44	0,19	0,90	80,04	100,00	100,00
	F1	6,24	0,42	0,17	0,75	91,29	74,86	85,38
	AF	42,78	0,44	0,19	1,19	46,55	25,14	14,62

Em relação aos melhores resultados, tem-se que:

- os testes que apresentaram maiores recuperações em termos de teor de BaSO₄ e baixos teores de sílica foram os de número 5, 8, 9, 11; como pode ser observado na tabela IV:

TABELA IV. RESUMO DOS MELHORES TESTES

Teste	%BaSO ₄	% SiO ₂	% Recuperação BaSO ₄
5	92,17	7,71	96,29
8	93,04	6,30	92,23
9	92,17	5,33	94,03
11	92,75	6,08	88,62

- os testes de cinética também apresentaram teores e recuperações elevados;
- nota-se que se obtiveram bons resultados de teor e recuperação de BaSO₄ com concentrações diferentes de reagentes; ou seja, no teste 5 utilizou-se apenas 350 g/t de cetil; no teste 8 foram 200 g/t de cetil + 500 g/t de óleo de soja; no teste 9 foram 100 g/t de cetil + 1000 g/t de óleo de soja + 100 g/t de KE e no teste 11 foram utilizadas 200 g/t de cetil + 100 g/t de KE;
- a escolha da condição mais adequada de flotação em escala de bancada recaí para o teste de número 8 onde, além de representar os resultados em termos de teor e de recuperação, observa-se também a combinação de reagente mais viável economicamente, ou seja, de menor custo e mais eficiente;
- observa-se também que a mistura de KE com Cetil promove o mais baixo teor de sílica no concentrado (teste 11), devendo-se considerar também esta alternativa para os ensaios em maior escala.

3.2.3 Esquema representativo do melhor teste

A figura 4 apresenta a composição do ensaio 8 realizado, considerado o melhor teste de flotação para a barita branca.

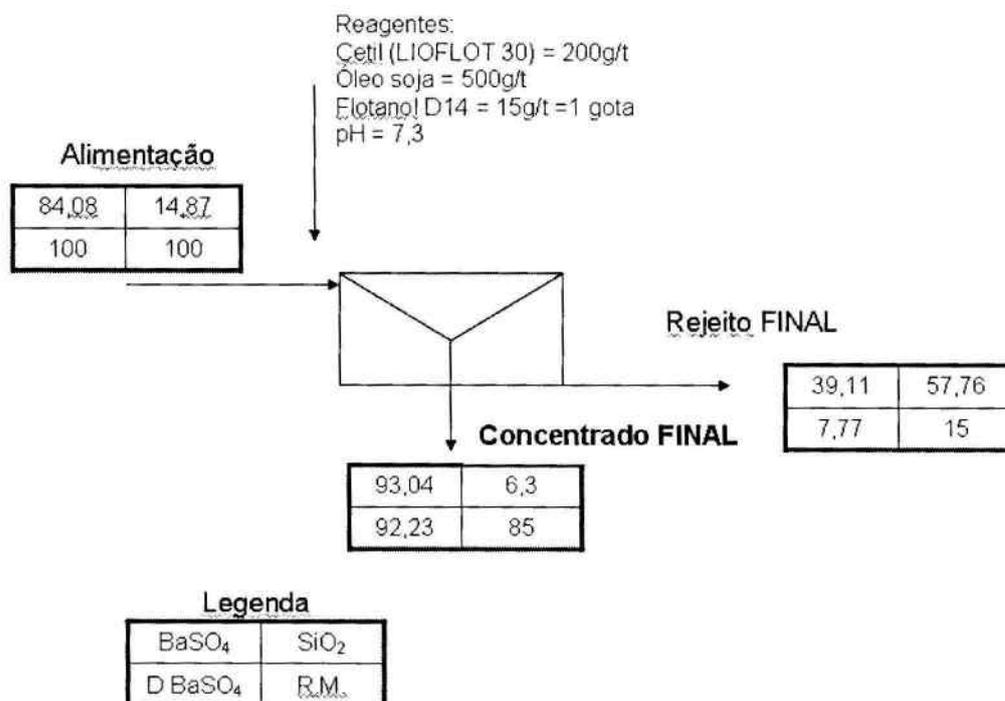


FIGURA 4. ESQUEMA REPRESENTATIVO DO MELHOR TESTE DE FLOTAÇÃO

3.3 Simulação e Cálculo de Capacidade do Circuito de Flotação Existente em Pequeri

Assumindo-se que a recuperação de barita pode ser calculada a partir de uma lei cinética de primeira ordem $R = R_{\infty}[1 - e^{-kt}]$, onde k é a constante cinética, R_{∞} é a recuperação máxima, R é a recuperação e t é o tempo de flotação; para atingir 92% de recuperação final seria necessário um tempo de 3 minutos. A prática mostra que os tempos

de flotação de laboratório devem ser duplicados quando empregados como tempo de residência num circuito industrial. Assim, para o estágio “rougher” se obtém uma capacidade de alimentação de 710 kg/h considerando-se uma polpa com 40% de sólidos em peso com um tempo de residência de 6 minutos, como visto na tabela V.

TABELA V. CÁLCULOS PARA O ESTÁGIO ROUGHIER DO CIRCUITO

Alimentação do circuito de flotação	t/h	0.71	=	710 kg/h
Densidade		4.5		
% sólidos		40%		
Fluxo de água		1.065 m ³ /h		
Fluxo de polpa		1.222778 m ³ /h		
Tempo de residência		6 min.		0.1 h
Volume efetivo requerido para 6 minutos de residência		0.122278 m ³		
Volume da célula existente	77 L			
Número de células existentes	2			
Volume total	154			
15% para ar	15%			
5% para rotor	5%			
Volume líquido existente	123.2 L	=		0.1232 m ³

4. CONCLUSÕES

- O melhor tempo de moagem foi obtido com 30 minutos, onde se obtém 90% da barita passante em 150 μm ;
- O valor médio da constante cinética da barita obtido, assumindo um modelo cinético de 1^a ordem, foi de 0,91 min^{-1} , o que indica que a barita flota rápido, praticamente no primeiro minuto;
- A condição, considerada mais adequada, de flotação em escala de bancada, a qual foi reproduzida em escala piloto, foi a do teste 8 (93,04% BaSO_4 ; 6,30% SiO_2 ; 92,23% de recuperação de BaSO_4), onde levou-se em conta também a melhor viabilidade econômica dos reagentes (cetil + óleo de soja);
- A mistura dos reagentes cetil estearil sulfato de sódio com sulfossucinato fornece os menores teores de sílica para a flotação da barita branca, da ordem de 6,0%;
- Considerando 40% de sólidos com tempo de residência de 6 minutos buscando atingir 92% de recuperação de BaSO_4 , a capacidade de alimentação do circuito de flotação existente em Pequeri é de 710 kg/h.

5. REFERÊNCIAS

- Klein, C., Hurlburt, C. Jr. Manual of Mineralogy, 20 ed., Wiley, New York, pp.425-427, 1984.
- Luz, A.B., Lins., F.F. Barita. In: Rochas e Minerais Industriais. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 726p. cap.12, p.263-277, Rio de Janeiro, 2005.
- Papini, R.M.; Araujo, A.C., Leite, A.P.; Silva, R.C. Characterization and definition of parameters to concentration route of white barite by flotation. Anais VIII Jornadas Argentinas de Tratamiento de Minerales, p.21-30, San Juan, 2006.
- Papini, R.M.; Araujo, A.C.; Leite, A.P.; Silva, R.C. Projeto Definição de parâmetros técnicos para implementação de sistema de moagem e concentração de barita - Mineração Santa Rosa, relatório técnico, FCO, 17p., Belo Horizonte, 2005.