

APLICAÇÃO DE FLOTAÇÃO EM COLUNA PARA UM MINÉRIO DE FERRO COM TEOR VARIÁVEL DE SÍLICA ⁽⁰¹⁾

Antônio Neves Santana⁽⁰²⁾

Emir Birro de Castro⁽⁰²⁾

Rita Virgínia Gabriel da Silva⁽⁰³⁾

RESUMO

O Plano de Longo Prazo da Minerações Brasileiras Reunidas S.A. - MBR contempla a exploração dos seus depósitos de hematita e itabirito e expansão de algumas de suas operações correntes.

O presente trabalho apresenta a conclusão da primeira fase deste plano que consistiu da expansão da Mina de Pico do Itabirito incluindo-se: desenvolvimento do processo, estudos de simulação, "scale-up", problemas de "start-up" e otimizações necessárias do circuito de flotação.

O circuito industrial foi definido através de um programa de testes em escala de bancada empregando-se metodologia de planejamento fatorial e de testes em escala piloto.

O circuito rougher-cleaner foi selecionado devido ao seu bom desempenho para diferentes teores de sílica da alimentação da coluna, consideradas individualmente.

A prática de flotação catiônica reversa mostrou que a eficiência do método é afetada pela variabilidade da sílica na alimentação.

Palavras chaves : Variabilidade, Processo, Flotação em Coluna

(01) Trabalho a ser apresentado no I Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro: Caracterização, Beneficiamento e Pelotização, Ouro Preto, MG, 14 a 17 de outubro de 1996

(02) Mina de Pico - Minerações Brasileiras Reunidas S.A. - MBR
Av. de Ligação, 3.580, Nova Lima, MG, Brasil - 34000-000

(03) Centro de Pesquisas - Minerações Brasileiras Reunidas S.A. - MBR
Av. de Ligação, 3.580, Nova Lima, MG, Brasil - 34000-000

INTRODUÇÃO

A primeira fase do plano de desenvolvimento de longo prazo da MBR, foi concluída através da expansão das operações na Mina do Pico. O projeto foi comissionado em setembro de 1994, incluindo uma nova planta de beneficiamento com flotação em coluna, para a concentração dos finos, fração menor que 0,15 mm. O fluxograma é apresentado na figura 1.

Considerando experiências passadas com minérios hematíticos de altos teores nas minas de Águas Claras e Mutuca, a necessidade de concentração de finos não era esperada. Todas as pesquisas realizadas anteriormente objetivaram a concentração de minérios itabiríticos.(1)

Embora as hematitas da Mina do Pico sejam de alto teor, o depósito apresenta grande complexidade geológica, incluindo interdigitações de itabiritos no corpo do minério de hematita.

Este fato foi responsável pela implantação de um circuito de concentração na planta de beneficiamento de hematitas. Estudos preliminares realizados no Centro de Pesquisas da MBR, indicaram que a flotação foi a técnica mais adequada para a concentração. A decisão por colunas de flotação foi baseada no estágio atual desta aplicação no Brasil.

DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO(2)

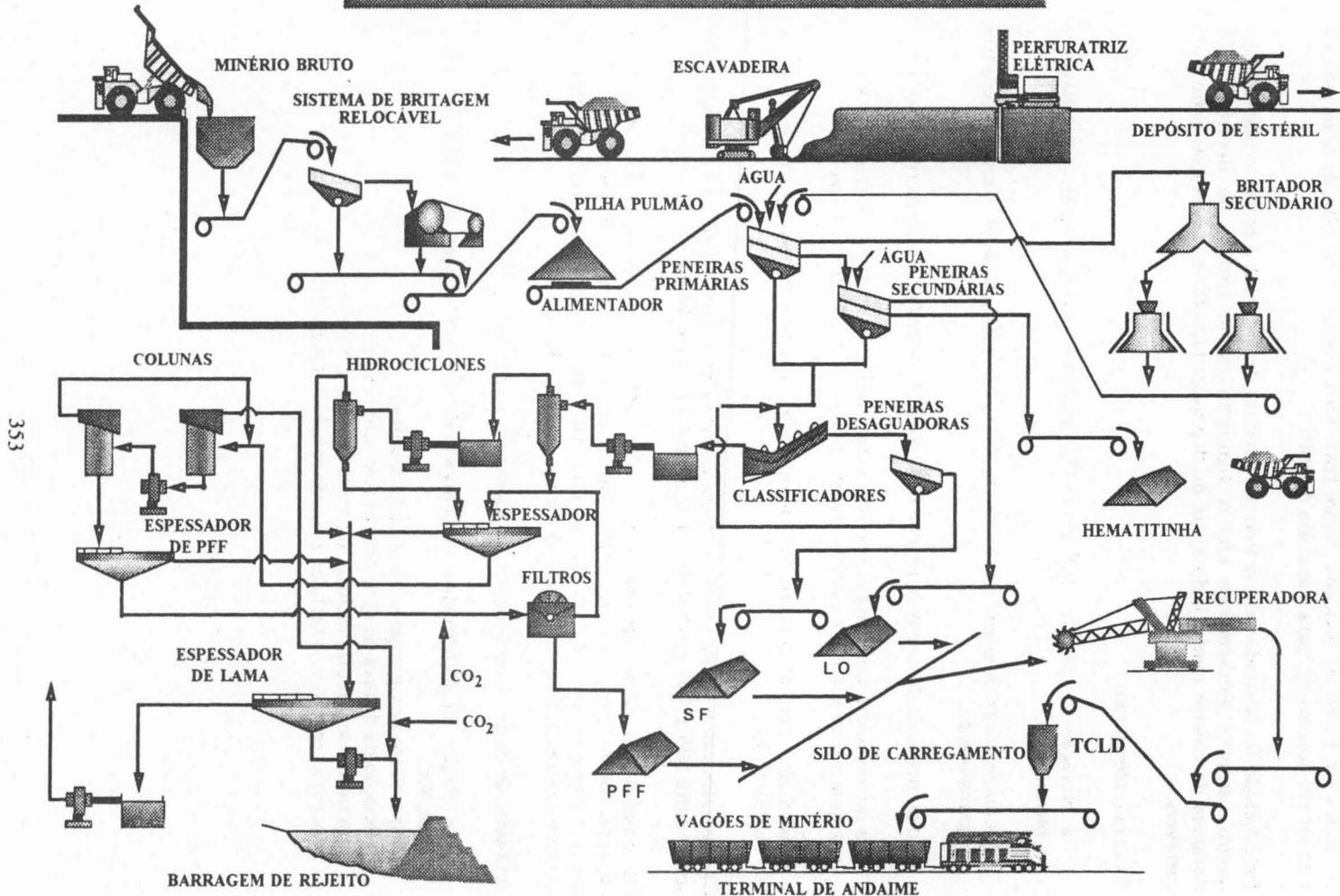
O desenvolvimento do processo foi iniciado, com estudos em escala de bancada, usando-se uma amostra de 1000 t que incluiu todos os possíveis tipos de minérios. Em função da variação da sílica contida nos finos, três outras amostras foram também testadas em escala piloto, com diferentes teores de sílica nos finos, para teste em planta piloto. A principal razão foi baseada no fato que o projeto não incluía investimentos em pilhas de homogeneização. Somente uma pilha pulmão após a britagem primária foi contemplada.

As principais características das amostras são apresentadas na tabela I.

Tabela I - Características Químicas das Amostras após Deslamagem

Amostra	Fe(%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Mn(%)	P(%)	PPC(%)
1000 t	65,1	5,08	0,44	0,055	0,019	0,77
2 % SiO ₂	67,5	2,20	0,52	0,050	0,020	0,71
10 % SiO ₂	62,4	10,51	0,12	0,015	0,010	0,13
14 % SiO ₂	59,9	14,2	0,11	0,010	0,010	0,18

FIGURA 1 - FLUXOGRAMA DA MINA DO PICO



Os testes em escala de bancada, foram realizados usando o método de planejamento fatorial em dois níveis, para a amostra de 1000 t.

Este método foi aplicado para definir as variáveis de processo e mostrou que somente quatro variáveis apresentaram efeitos significativos no sistema de flotação : pH, dosagem do coletor (amina), dosagem do depressor (amido) e a interação entre estas variáveis.

As conclusões foram :

- a elevação do pH de 10,8 para 11,2 melhora as recuperações em massa e metalúrgica;
- o aumento da dosagem de amido de 400 para 600 g/t causa a mesma resposta acima obtida;
- o aumento da dosagem de amina de 30 para 50 g/t reduz ambas as recuperações;
- a interação das três variáveis, promovem a mesma resposta da dosagem de amina, a qual indica ser a dosagem da amina, a variável de maior significância;
- nenhuma das variáveis tiveram muita influência nos teores de ferro e sílica do concentrado.

Os seguintes valores foram usados nos testes em planta piloto : pH = 11,2 dosagem de amido entre 600 a 900 g/t e dosagem de amina entre 30 e 50 g/t.

Os estudos em planta piloto visaram basicamente a definição do circuito, o estabelecimento de parâmetros para "scale-up" e a avaliação de desempenho do circuito frente a variabilidade do minério. Os circuitos rougher, rougher-cleaner e rougher-scavenger foram testados para a amostra de 1000 t.

Uma série de cinco testes foram realizados para se avaliar :

- correlação da recuperação metalúrgica do ferro e o teor de sílica (circuito rougher)
- capacidade de carregamento (circuito rougher)
- variação da taxa de alimentação (circuito rougher)
- operação em circuito fechado (circuito rougher-cleaner)
- operação em circuito fechado (circuito rougher-scavenger)

Baseando-se na comparação dos resultados obtidos para cada configuração de circuitos, o circuito rougher-scavenger foi mais eficiente em relação à recuperação em massa; já no tocante à variabilidade de alimentação esperada, o circuito rougher-cleaner garante melhor qualidade de concentrado final.

As condições do melhor teste (teste 5B) foram usados para processar as amostras de diferentes teores de sílica e também para avaliar a capacidade do circuito em absorver a variação de sílica na alimentação, durante um teste de longa duração.

A tabela II lista as condições do teste (teste 5B) para a amostra de 1000 t, a tabela III mostra os parâmetros da flotação obtidos e a figura 2 os balanços metalúrgico e de massa.

Os resultados mostram que o desempenho do circuito de, é principalmente influenciado pela variabilidade do teor de sílica na alimentação, e não pelo teor de sílica contida no minério.

Os resultados globais, também indicaram que uma certa quantidade de sílica é necessária para garantir a qualidade no concentrado.

DESENVOLVIMENTO DE PROCESSO (3)

Os resultados obtidos pelo programa em planta piloto, foram usados pela Cominco com os seguintes objetivos:

- determinar as constantes cinéticas de flotação;
- estabelecer diretrizes para determinar o tamanho de colunas com capacidade nominal de 408 t/h (27% do total de alimentação da planta) e uma capacidade máxima de 450 t/h;
- simular e prever os balanços de massa e metalúrgico. Os critérios de projeto são apresentados na tabela V.

As seguintes conclusões foram obtidas :

- a sílica é muito facilmente removida por flotação. A constante cinética média calculada (K) situa-se na faixa de $0,10 - 0,35 \text{ m}^{-1}$ no estágio rougher dependendo do teor de sílica na alimentação. A constante cinética do estágio cleaner foi muito baixa devido à falta de sílica disponível para a flotação neste estágio;
- para teores de sílica contidos na alimentação entre 3% e 7%, o desempenho da coluna não terá restrições de capacidade de carregamento, carregamento de ar e capacidade de descarga, mas sim pelo tempo de residência requerido. Para níveis de sílica maiores que 7%, a restrição de capacidade de carregamento limitará a capacidade da coluna.

Tabela II - Condições do Teste de Flotação em Coluna - Circuito fechado

Condições	Teste 5B	Condições	Teste 5B
1 - Características AL- CR		8 - Vazões de água(l/h)	
- Massa de Sólido (kg/h)	574,67	- Alim. do classificador (A1)	2.751,63
- Massa de Polpa (kg/h)	931,74	- Arraste no Classif. (A 1)	330,00
- % Solidos (em peso)	61,68	- Diluição Al. Ciclones (A 2)	10,04
- Densidade do Sólido(g/cm ³)	4,82	- Diluição no CN 01 (A 3)	153,33
- Vazão de polpa (l/h)	476,27	- Diluição CR (A 4)	57,35
2 - Reagentes (g/t)		- Lavagem CR (A 5)	203,04
- Soda cáustica (CN 01)	250,00	- Diluição no CN03 (A 6)	0,00
- Amido(CN 01)	783,06	- Lavagem CC (A7)	202,57
- Amina (CN 02)	36,54	9 - Controle de pressão CR	
- Soda cáustica (CN 03)	63,00	- Pressão superior(psi) - P1	2,2
- Amina (CN 03)	19,31	- Pressão inferior (psi) - P2	8,4
3 - Tempo de Residência (min)		- Distância entre pontos (m)	4,40
- CN 01	2,87	- Temperatura da polpa (°K)	289
- CN 02	2,83	- Pressão ar spargers (psi)	14,0
- CN 03	1,35	10 - Controle de pressão CC	
- CR	13,80	- Pressão superior(psi) - P1	3,0
- CC	9,96	- Pressão inferior (psi) - P2	9,8
4 - pH		- Distância entre pontos (m)	4,19
- CN 01	11,8	- Temperatura da polpa (°K)	289,0
- CN 02	11,8	- Pressão ar spargers (psi)	11,5
- CN 03	11,6	11 - Dimensões CR	
- CR	11,4	- Diâmetro (cm)	17,78
- CC	11,4	- Altura da zona coleta(m)	5,80
5 - Camada de Espuma (cm)	95	- Distância do Topo á P1 (m)	2,50
- CR	90	- Distância do Topo á P2 (m)	6,90
- CC		12 - Dimensões CC	
6 - Vazões de Ar (l/h) - 1 atm		- Diâmetro (cm)	17,78
- CR	720	- Altura da zona coleta (m)	5,50
- CC	900	- Distância do Topo á P1(m)	2,30
7 - Diâmetro das Partículas(cm)		- Distância do Topo á P2 (m)	6,49
- CR	0,0030		
- CC	0,0030		

RC: Coluna Rougher CC: Coluna Cleaner CN: Condicionador

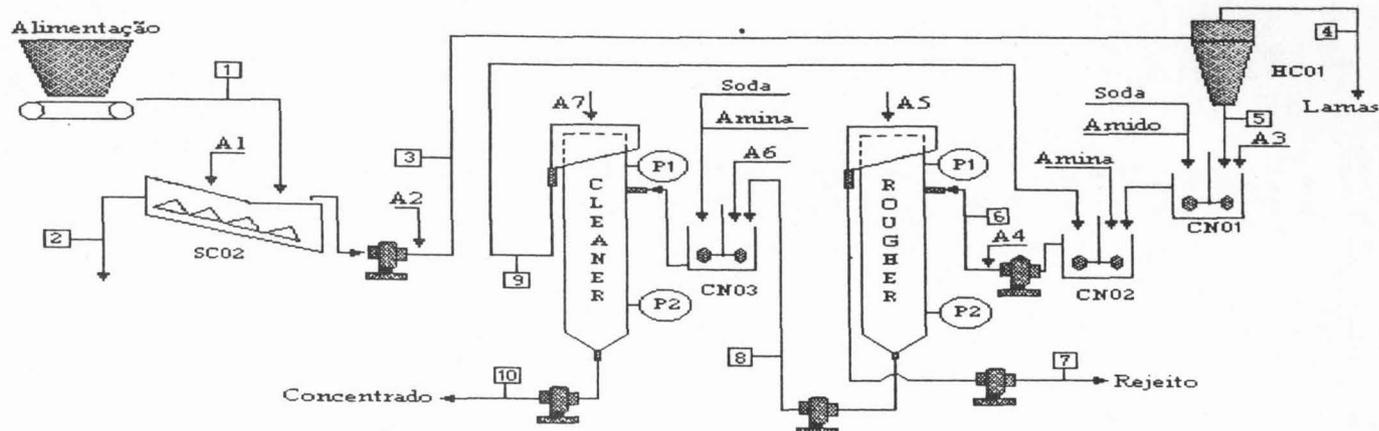
Table III - Parâmetros do teste de flotação em coluna - Circuito fechado

Parâmetros	Test 5B
1 - Velocidade Supercial (cm/s)	
- Ar CR	0,56
- Ar CC	0,61
- Água de lavagem CR	0,23
- Água de lavagem CC	0,23
- Polpa da RC	0,72
- Polpa da CC	0,92
2 - Capacidade de Carregamento ($\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$)	
- CR	2,68
- CC	0,30
3 - Capacidade de Carregamento (kg/cm^3 de ar)	
- CR	55,54
- CC	5,00
4 - "Bias"	
- CR	1,31
- CC -	1,31
5 - "Hold up" (%)	
- CR	20,0
- CC	11,0
6 - Diâmetro de Bolha (mm)	
- CR	0,421
- CC	0,618
7 - Recuperação em Massa (%)	
- Geral	92,25
8 - Recuperação Metalúrgica (%)	
- Global	97,49

CR: Coluna Rougher CC: Coluna Cleaner

Tabela IV - Critérios de Projeto

		Rougher	Cleaner
Taxa de Alimentação:	t/h	400-450	350-400
Teor de Alimentação:	% SiO ₂	3 - 7	1,5 - 2,5
Teor de Concentrado:	% SiO ₂	1,5 - 2,5	1,2 max
Recuperação do Estágio:	% SiO ₂	65 - 75	50 - 70
	% Fe	> 97	> 90
% Sólidos na Alimentação (em peso):		55 - 60	50 - 60
d ₈₀ (microns):		30 - 50	30 - 50
Constante Cinética (min^{-1}):	SiO ₂	0,10 - 0,25	0,05 - 0,1
"Gas Holdup", %		15 - 20	15 - 20
Velocidade Superficial do Gás, Jg (cm/s)		0,5 - 1,5	1,0 - 2,0
Altura da Espuma, m		0,5 - 1,0	0,5 - 1,0
Capacidade de Carregamento máx. ($\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$)		6,5	3,5



Fluxos		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Descrição dos fluxos		Aliment.	UF - CE	OF - CE	OF HC	UF HC	Alim. Flotação	RF	CR	RC	CC=CF
Distribuição massa (%)	(%)	100,00	52,60	47,40	4,51	42,89	43,23	3,01	40,22	0,34	39,88
Vazão de sólido (kg/h)	(kg/h)	1.329,41	699,32	630,09	59,92	570,17	574,67	39,99	534,68	4,50	530,18
Vazão de polpa (kg/h)	(kg/h)	1.429,62	844,90	3.666,36	2.965,06	711,34	931,74	81,76	1.053,03	9,72	1.245,87
Vazão de polpa (l/h)	(l/h)						476,27	55,28	626,11	6,15	822,53
Vazão de água (kg/h)	(kg/h)	100,21	145,57	3.036,27	2.905,14	141,17	357,07	41,77	518,35	5,23	715,69
% Sólidos (peso)		92,99	82,77	17,19	2,02	80,16	61,68	48,92	50,78	46,26	42,56
Densidade do sólido (g/cm ³)	(g/cm ³)					4,82	4,82	2,96	4,96	4,85	4,96
Fe (%)	(%)	65,5	66,9	64,0	53,9	65,1	65,1	15,9	68,8	66,1	68,8
SiO ₂ (%)	(%)	2,89	0,99	4,99	4,20	5,08	5,05	71,14	0,10	1,11	0,10
Al ₂ O ₃ (%)	(%)	1,06	1,09	1,02	6,53	0,44	0,45	0,69	0,43	1,20	0,42
P (%)	(%)	0,037	0,034	0,040	0,239	0,019	0,020	0,018	0,020	0,050	0,020
Mn (%)	(%)	0,135	0,136	0,134	0,882	0,055	0,056	0,059	0,056	0,162	0,055
PPC (%)	(%)	1,45	1,42	1,49	8,36	0,77	0,78	0,59	0,79	1,86	0,78

Figura 2 - Balanço Metalúrgico do Teste Piloto 5 B (Amostra de 1000 t)

- a relação entre teor e recuperação indica que níveis de recuperação de ferro maiores que 98% podem ser obtidos, com níveis de sílica no concentrado menores que 1,2%. O limite de teor de sílica atingível no concentrado será mais função da liberação do mineral do que da capacidade metalúrgica.

Baseando-se nas faixas de variação de taxa de alimentação e de teores da cabeça, a Cominco recomendou serem necessárias um total de duas colunas de 3,67 m (diâmetro) para redução dos níveis de sílica para 1,2% no concentrado.

As colunas foram dimensionadas tendo 14 m de altura nos estágios rougher e cleaner. A espuma silicosa do estágio rougher consiste do rejeito final. O rejeito do estágio cleaner será recirculado para a alimentação do estágio rougher.

A recuperação global de ferro no circuito de flotação pode exceder a 98% com um teor de sílica no concentrado entre 1,0 e 1,2%, dependendo da taxa de alimentação das colunas, teor de alimentação e características de liberação.

“START-UP” DA PLANTA

Os circuitos de britagem, peneiramento e classificação apresentaram os problemas normais de “start-up”. A resposta do circuito de concentração foi instável durante um pequeno período devido as seguintes razões:

- deslamagem ineficiente, devido a disponibilidade de água;
- bomba do concentrado do rougher sem variador de velocidade, provocando variações na alimentação da coluna cleaner;
- controle ineficiente de pH;
- análises químicas irregulares dos fluxos do circuito;
- variação da taxa de alimentação das colunas em função da variação dos “splits” dos produtos;
- variação do teor de sílica da alimentação (a figura 3 mostra a variação de sílica na alimentação e concentrado);
- qualidade da água de lavagem utilizada, proveniente do overflow do espessador de rejeitos;
- controle ineficiente do nível das colunas devido a ajustes irregulares das válvulas “pinch”;

A maioria dos problemas mencionados acima foram prontamente solucionados, excetos aqueles referentes as variações de taxa de alimentação e da sílica contida.

A maioria dos problemas mencionados acima foram prontamente solucionados, excetos aqueles referentes as variações de taxa de alimentação e da sílica contida.

Apesar da boa interação desenvolvida entre as áreas de Controle de Processo da Planta e o Planejamento da Mina, a planta continuou a operar com significativa variação nos “splits” dos produtos e teor de sílica na alimentação.

Por estes motivos, a planta foi repotenciada visando aumentar a capacidade de concentração (maior tonelagem de finos com teores mais altos de sílica).

O repotenciamento incluiu:

- instalação de uma segunda coluna no estágio rougher, ficando o circuito atual com duas colunas rougher e uma cleaner;
- repotenciamento do sistema de dosagem de reagentes;
- aumento da disponibilidade de água de processo necessária para promover melhoria na deslamagem, permitindo melhor controle operacional da percentagem de sólidos na alimentação da ciclonagem.

A figura 4 e 5 mostram as melhorias operacionais obtidas em termos de qualidade de “pellet feed fines”(PFF), após o repotenciamento da planta, ficando o produto quase sempre dentro da especificação, eliminando-se a necessidade de estocagem de PFI com sílica alta.

OPERAÇÃO ATUAL

Atualmente, a MBR está envidando todos os esforços necessários para a otimização das operações da Mina do Pico.

Um programa de caracterização tecnológica dos diferentes tipos minérios que compõem a alimentação está em andamento, visando aumentar os conhecimentos das possíveis respostas destes minérios ao processo de concentração por flotação em colunas. Os problemas gerados por teores elevados de alumina contido na alimentação das colunas também está sendo contemplado.

Otimização do circuito de deslamagem, através da reciclagem dos “underflows” dos ciclones, como mostrado na figura 5, está sendo avaliado.

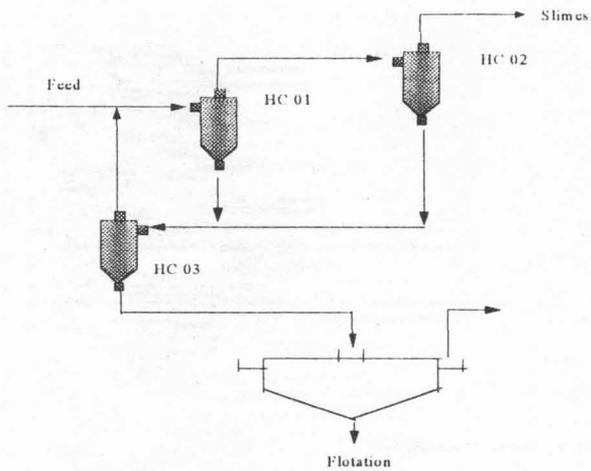


Figura 5 - Circuito de Deslamagem Proposto

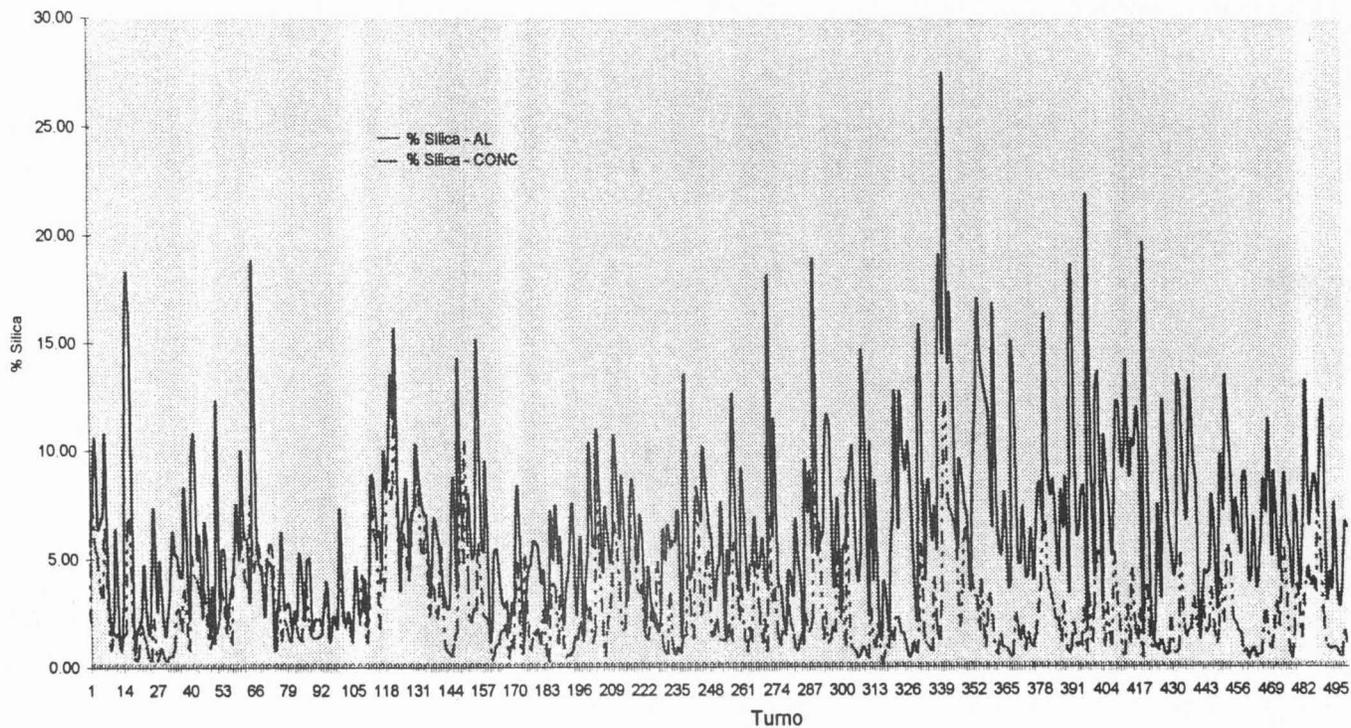


Figura 3 - Teor de Silica da Alimentação x Teor de Silica do Concentrado
Set a Dez/1994

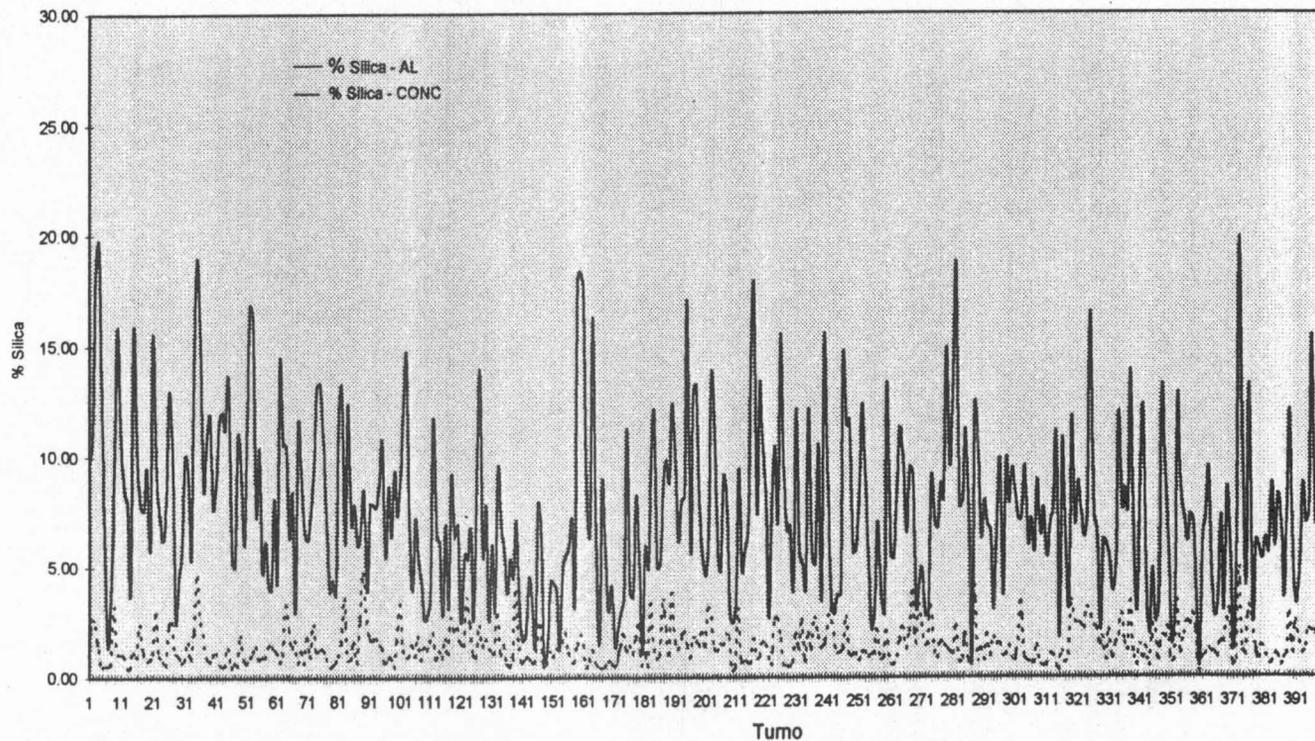


Figura 4 - Teor de Silica da Alimentação x Teor de Silica do Concentrado
Set a Dez/1995

REFERÊNCIAS

- 1- A.N. SANTANA; A.T.B. CORDEIRO and L.T.S. RAMOS, "Study of concentration of itabirites from Minerações Brasileiras Reunidas S.A. - MBR", Flotation Volume, Paper presented at the III Meeting of the Southern Hemisphere on Mineral Technology/ XV Brazilian Meeting on Mineral Processing and Hydrometallurgy, São Lourenço, Minas Gerais, Brazil, 13-16 September 1992,625.
- 2- A.N. SANTANA; A.T.B. CORDEIRO, "Hematite Fines Concentration from Pico Mine by Column Flotation, Report 68,1993, MBR Research Center.
- 3- Cominco Engineering Services Ltd., "Test Data Review and Column Sizing", Report, 1993, Technology Division,CESL

COLUMN FLOTATION APPLICATION TO AN IRON ORE WITH VARIABLE SILICA CONTENT⁽⁰¹⁾

Antônio Neves Santana⁽⁰²⁾
Emir Birro de Castro⁽⁰²⁾
Rita Virgínia Gabriel da Silva⁽⁰³⁾

ABSTRACT

The long term development plan of Minerações Brasileiras Reunidas S.A. - MBR contemplates the exploitation of hematite and itabirite (low grade iron ore) deposits and expansion of some present operations.

This paper presents the accomplishment of the first phase of this plan, which consisted of Pico do Itabirito Mine expansion including: process development, simulation studies, scale-up, start-up problems and necessary improvements for column flotation circuit optimization.

The industrial circuit was defined from a two-level factorial design test program of conventional bench scale flotation.

The rougher-cleaner circuit was selected due to its response to several levels of silica content in the feed, considered individually.

The reverse cationic flotation practice has showed that the method efficiency is strongly affected by the silica variability in the feed.

Keywords: Variability, Process, Column Flotation

(01) Trabalho a ser apresentado no I Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro: Caracterização, Beneficiamento e Pelotização, Ouro Preto, MG, 14 a 17 de outubro de 1996

(02) Mina de Pico - Minerações Brasileiras Reunidas S.A. - MBR
Av. de Ligação, 3.580, Nova Lima, MG, Brasil - 34000-000

(03) Centro de Pesquisas - Minerações Brasileiras Reunidas S.A. - MBR
Av. de Ligação, 3.580, Nova Lima, MG, Brasil - 34000-000

